

# L'ÉLECTRICITÉ

APPLIQUÉE

# AUX ARTS MÉCANIQUES,

## A LA MARINE, AU THÉATRE,

PAR M. ERNEST SAINT-EDME,

Physicien-Expert près le Tribunal de première instance de la Seine,
Préparateur de Physique au Conservatoire des Arts et Métiers,
Professeur de Sciences physiques à l'École supérieure du Commerce, etc.

PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1871

# L'ÉLECTRICITÉ

APPLIQUÉE

# AUX ARTS MÉCANIQUES,

A LA MARINE, AU THÉATRE.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.

# L'ÉLECTRICITÉ

APPLIQUÉE

# AUX ARTS MÉCANIQUES,

## A LA MARINE, AU THÉATRE,

PAR M. ERNEST SAINT-EDME.

Physicien-Expert près le Tribunal de première instance de la Seine,
Préparateur de Physique au Conservatoire de Arts et Métiers,
Professeur de Sciences physiques à l'École supérieure du Commerce, etc.




PARIS,
GAUTHIER-VILLARS, IMPRIMEUR-LIBRAIRE
DU BUREAU DES LONGITUDES, DE L'ÉCOLE POLYTECHNIQUE,
SUCCESSEUR DE MALLET-BACHELIER,
Quai des Augustins, 55.

1871


Digitized by Google

# TABLE DES MATIÈRES.

## CHAPITRE II.

### LES APPAREILS.

## CHAPITRE III.

### LES LIGNES.



## CHAPITRE IV.

### L'ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE A LA MARINE.

## CHAPITRE V.

### L'ÉLECTRICITÉ AU THÉATRE.



FIN DE LA TABLE DES MATIÈRES.

## AU LECTEUR.

L'électricité devient un agent de plus en plus nécessaire dans une société civilisée comme la nôtre, et à ce titre elle prend place à côté de la vapeur, du gaz, de l'eau et de l'air.

Aussi est-il indispensable d'en organiser la distribution, comme on l'a fait pour ces agents.

Pour n'en citer qu'un exemple pris dans la vie la plus usuelle, ne voit-on pas que son emploi est devenu nécessaire pour la transmission rapide des ordres dans ces hôtels immenses, véritables caravansérails de la nouvelle civilisation, qui remplacent les hôtels patriarchaux dont le Paris nouveau ne gardera plus aucune trace d'ici à peu d'années? Ainsi encore, les établissements publics, siéges d'administration, théâtres, lycées, hôpitaux, etc., ne réclament-ils pas impérieusement l'intervention de l'électricité dans leur service général? Mais, de même que pour l'emploi de la vapeur, du gaz, de l'eau et de l'air, il faut approprier la nature du générateur au service qu'il doit remplir, de même la source d'électricité doit être choisie et déterminée suivant le

travail qu'elle est appelée à effectuer. Ainsi, en particulier, un générateur d'électricité qui sera d'un bon emploi dans le service télégraphique ne conviendra ni pour animer un moteur ou engendrer l'arc voltaïque, ni pour produire dans de bonnes conditions un travail électrochimique.

Il faut donc, avant de songer aux applications dont l'électricité est susceptible, étudier rationnellement les *conditions d'aptitude* des sources électriques que la science met à la disposition de la pratique industrielle. Cette étude fait l'objet de notre premier Chapitre.

Dans le suivant, nous donnons une description très-complète des appareils les plus nouveaux qui peuvent être employés dans les habitations privées, les hôtels, les établissements publics; nous y traitons aussi des moteurs et des indicateurs électriques.

Le Chapitre III passe en revue les diverses questions relatives aux lignes aériennes et souterraines; il donne tout particulièrement des détails sur l'établissement des lignes dans les villes, les édifices, les égoûts, etc. Il se termine par la description des lignes et des appareils propres à la télégraphie militaire.

Enfin les deux derniers Chapitres sont consacrés à l'exposition des applications si intéressantes de l'électricité à la marine et au théâtre.

Nous espérons que ce petit Livre, écrit à un point de vue essentiellement pratique, rendra quelques services aux administrateurs, architectes, ingénieurs, qui voudront bien le consulter. Puisse-t-il contribuer à répandre les applications d'une force nouvelle, fille de notre siècle, qui, après avoir été si bien étudiée par nos savants, doit entrer définitivement dans les usages de la vie civilisée!

# L'ÉLECTRICITÉ

APPLIQUÉE

# AUX ARTS MÉCANIQUES, A LA MARINE, AU THÉATRE.

---

## CHAPITRE PREMIER.

### LES SOURCES D'ÉLECTRICITÉ.

---

### I. — Les piles anciennes et nouvelles; progrès réalisés.

Sommes-nous donc dans une époque de transition? on serait tenté de le croire. Les savants ont étudié avec la plus scrupuleuse attention les conditions de production de l'électricité; la source chimique ne laisse plus rien à scruter; la transformation de la chaleur en électricité est indiquée de fait; l'induction a enfanté les plus merveilleux générateurs; et, cependant, le *grand prix d'Électricité,* fondé par la munificence du Chef de l'État, n'a pas encore été décerné à son véritable titre (1). En

(1) M. Ruhmkorff, le premier lauréat, a dû cette haute récompense au dévouement intelligent qu'il a apporté au perfectionnement de la bobine d'induction, appareil qui illustrera à jamais son nom dans le monde scientifique.

effet, ce prix appartient, en principe, à l'auteur d'une *pile sèche* qui donnerait des effets identiques à ceux d'*une pile à éléments liquides*.

La meilleure solution de ce problème est fournie actuellement par les machines magnéto-électriques qui transforment la *force motrice* en *électricité*. Mais il n'est pas encore donné à ces intéressants appareils de suppléer à la *pile proprement dite* dans tous les services.

Volta, en créant la pile, est parti, chacun le sait, d'un principe faux; la pile n'a pas changé, quant à sa nature première; seulement, grâce aux travaux remarquables de M. Becquerel père sur l'origine chimique du couple voltaïque, l'œuvre de Volta s'est trouvée non-seulement corrigée de l'erreur de principe qui avait présidé à sa création, mais elle a été rendue apte à toutes les grandes applications de l'électricité. Depuis, les divers modèles de piles qui se sont succédé ne diffèrent que par des modifications plus ou moins intelligentes apportées par les auteurs à ce principe fécond de la dépolarisation de l'*électrode positive*. Une des causes qui nuisent à l'introduction de l'électricité dans l'industrie, est l'incapacité des soi-disant inventeurs de piles qui prétendent, à toute force, produire, par action chimique, de l'électricité qui ne *coûte presque rien*. Et cela, parce qu'ils veulent opérer avec des matériaux du moindre prix de revient.

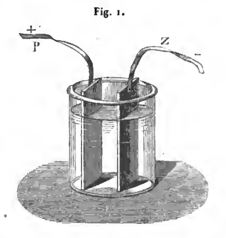
Il est aisé de rapprocher le générateur d'électricité, *ainsi perfectionné*, d'un générateur à vapeur pour lequel on brûlerait un charbon économique comme prix de revient, mais très-riche en silice et en sels calcaires.... Où

serait l'économie? — Encombrement de matière, chaleur perdue par absorption, détérioration plus rapide de l'appareil....

Indiquons donc, avant tout, ce que l'on doit entendre par une pile voltaïque industrielle et décrivons les modèles qui conviennent aux applications de l'*électricité*, dont l'exposé est le sujet de cet Ouvrage.

Une pile *à courant constant* est composée de deux parties : l'une est un foyer où brûle le combustible qui engendre l'électricité; l'autre constitue le régulateur du dégagement électrique. Considérons, comme exemple, le couple simple de Volta (*fig.* 1). Une lame de zinc Z et

Fig. 1.




une lame de platine P se trouvent en présence au sein de l'eau acidulée par l'acide sulfurique; le zinc s'oxyde, l'oxyde de zinc se transforme en sulfate de zinc qui se dissout dans l'eau, et l'hydrogène, provenant de l'eau décomposée, se transporte sur le platine, lequel joue

exclusivement le rôle de conducteur positif, et cela, en vertu de cette loi fondamentale : « Lorsque deux métaux sont plongés dans un même liquide, le métal le plus attaqué prend l'électricité négative, et l'autre l'électricité positive. »

Or, le gaz hydrogène, qui vient immédiatement couvrir la lame de platine, ne conduit que très-imparfaitement l'électricité; de là une diminution immédiate dans l'intensité du courant fourni par la pile. En outre, les gaz oxygène et hydrogène, mis en liberté dans le générateur, tendent continuellement à se recombiner, et le résultat de cet effet inverse est un contre-courant qui neutralise une partie importante du courant primitif. En résumé, un couple aussi simple que celui de Volta *perd* par ces deux causes : 1° *manque de conductibilité; 2° formation d'un contre-courant, par suite d'une action chimique inverse de celle qui produit le courant électrique principal.*

On constituera donc une pile voltaïque à courant constant en absorbant, comme M. Becquerel père l'a indiqué, l'hydrogène au fur et à mesure que ce gaz affluera sur le conducteur positif.

L'idéal d'une pile voltaïque à courant constant serait donc l'association, au sein de l'élément liquide comburant, du métal le plus combustible, autrement dit le plus attaqué, avec celui qui résiste le plus à cette action : de cette condition première dépend la *force électromotrice,* c'est-à-dire la somme d'électricité résultant de l'action chimique mise en jeu. La constance du couple sera obtenue en protégeant l'élément inattaqué

(c'est-à-dire positif) par une matière qui absorbe l'hydrogène.

Cette matière, liquide ou solide, doit, ainsi que l'élément positif, conduire l'électricité le mieux possible.

Ainsi donc, avant tout, il faut disposer de la force électromotrice la plus considérable; mais, cette quantité restant fixe, les intensités des couples différeront singulièrement, selon les éléments positifs qu'on emploiera pour maintenir la constance du courant, par suite des variations apportées à la résistance totale du couple.

Cette double condition de l'existence d'un couple à courant constant s'exprime très-simplement par la formule

$$I = \frac{E}{R}.$$

I est l'intensité du courant en un point quelconque du circuit;

E la force électromotrice, c'est-à-dire l'expression des actions chimiques mises en jeu dans le foyer électrique;

R la somme des résistances que l'électricité éprouve à circuler du pôle + au pôle — dans l'intérieur du couple.

Il est aisé de lire sur cette formule les deux lois fondamentales de la pile :

1° L'intensité du courant émis dans le circuit est *directement* proportionnelle à la force électromotrice du couple;

2° L'intensité du courant émis dans le circuit est *inversement* proportionnelle à la résistance du couple.

Si la combustion de l'élément négatif d'un couple est la cause génératrice essentielle du courant électrique, elle n'en est pas la cause unique. Il faut considérer encore l'action chimique qui peut se produire entre le liquide actif renfermé dans le vase extérieur et la substance protectrice qui environne le conducteur positif dans le vase poreux. Le tableau n° 1 indique nettement que la force électromotrice d'un métal est proportionnelle à l'énergie de l'action chimique qu'il subit, puisque cette quantité varie pour le même métal, s'il est mis en présence de divers liquides actifs. La première condition à remplir, pour constituer un couple, est donc d'associer au métal combustible choisi le liquide qui l'attaque le plus énergiquement, et aussi le plus régulièrement. Il faut aussi que la substance saline qui provient de cette réaction soit soluble dans le liquide actif et qu'elle conduise l'électricité.

TABLEAU N° 1.

*Forces électromotrices.*

| MÉTAUX. | EAU ACIDULÉE par l'acide sulfurique (eau 9, acide 1). | EAU ACIDULÉE par l'acide chlorhydrique (eau 10, acide 1). | DISSOLUTION de potasse caustique (eau 4, potasse 1). | EAU DISTILLÉE. |
|---|---|---|---|---|
| Amalgame de potassium (mercure 100, potassium 1)....... | 173,3 | " | " | " |
| Zinc amalgamé.. | 103,2 | 102,1 | 103,8 | 100,0 |
| Zinc pur (pris p. unité = 100). | 100,0 | 100,0 | 100,0 | " |
| Cadmium....... | 79,2 | 82,4 | 70,5 | 21,0 |
| Plomb......... | 66,6 | 65,7 | 64,1 | " |
| Étain.......... | 65,9 | 66,4 | 86,2 | " |
| Fer............ | 61,5 | 61,4 | 64,1 | 17,5 |
| Aluminium...... | 51,4 | 82,4 | 109,0 | " |
| Nickel......... | 45,1 | 47,8 | 30,7 | " |
| Bismuth........ | 37,2 | 40,7 | 46,2 | " |
| Cuivre......... | 35,0 | 45,4 | 42,3 | 10,0 |
| Argent......... | 21,8 | 33,6 | 0,0 | " |
| Or............ | 0,0 | " | 0,0 | " |
| Platin ......... | 0,0 | " | 12,8 | " |

Nous avons indiqué, pour les métaux les plus usuels, les forces électromotrices qui se développent en présence des dissolutions acides et alcalines généralement usitées. On se rend compte ainsi de la cause pour laquelle le zinc reste le métal *électrique* par excellence, et l'eau acidulée par l'acide sulfurique son comburant le plus rationnel. Le fer, quoique moins coûteux que le zinc, donne en effet presque moitié moins en *force électromotrice*.

Le tableau n° 2 a pour objet de montrer que les substances, active et protectrice, du couple réagissent l'une

sur l'autre pour en modifier la force électromotrice. Les liquides soumis à l'expérience étaient séparés par un vase poreux, et n'avaient aucune action sur les lames de platine qui faisaient amplement l'office de conducteurs. Les nombres indiqués expriment, en centièmes, la proportion qui appartient à l'action mutuelle des liquides employés, dans l'estimation numérique de la force électromotrice de chaque couple.

TABLEAU N° 2.

| LIQUIDES DU COUPLE. (On désigne d'abord le liquide extérieur, puis le liquide intérieur.) | SENS DU COURANT. Conducteur extérieur. | SENS DU COURANT. Conducteur intérieur. | FORCES ÉLECTROMOTRICES. |
|---|---|---|---|
| Eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{10}$............ Dissolution saturée de sulfate de cuivre................ | Platine + | Platine — | — 5,50 |
| Eau acidulée par l'acide sulfurique....... .......... Eau oxygénée.............. | Platine — | Platine + | + 7,50 |
| Eau acidulée par l'acide sulfurique.................. Acide azotique............ | Platine — | Platine + | de + 19,25 à + 21, selon la température ambiante. |
| Eau acidulée par l'acide sulfurique.................. Acide chromique.......... | Platine — | Platine + | + 27,80 |
| Eau acidulée par l'acide sulfurique.................. Eau chlorée...... ......... | Platine — | Platine + | + 37,25 |
| Acide chlorhydrique........ Acide azotique............ | Platine — | Platine + | + 52,50 |
| Dissolution de potasse....... Acide azotique............ | Charbon — | Charbon + | + 60,00 |

Nous arrivons actuellement à la seconde partie de la question générale de la pile, à la conductibilité plus ou moins parfaite de chacun des éléments du couple.

On conçoit, d'après l'expression $I = \frac{E}{R}$, que l'intensité du courant fourni par une force électromotrice puissante pourrait être anéantie dans une assez grande proportion par l'intercalation d'éléments très-résistants dans l'organisme du couple. C'est ainsi qu'un élément négatif, puissamment attaqué par un agent liquide, développera une grande force électromotrice, mais qu'un courant très-faible sera déversé dans le circuit extérieur, si cet élément ne conduit pas bien l'électricité et si le liquide lui-même se charge de composés qui altèrent sa conductibilité. Il ne faut donc pas, dans la combinaison d'un couple électrique à courant constant, s'en tenir exclusivement à la condition de force électromotrice; il faut encore que tous les éléments du couple, négatifs et positifs, soient bons conducteurs et que les produits des réactions chimiques qui s'opèrent n'altèrent pas la conductibilité du couple. C'est seulement en tenant compte de ces deux ordres de considérations qu'il est possible de *constituer rationnellement* un couple voltaïque à courant constant.

Le tableau n° 3 indique, d'après M. Ed. Becquerel, les rapports de conductibilité des principaux métaux usuels et des liquides ordinairement employés pour la constitution des piles (1).

(1) Les tableaux précédents ont également été empruntés aux Mémoires de ce savant physicien sur l'*Étude des piles voltaïques*.

TABLEAU N° 3.

*Pouvoirs conducteurs des métaux usuels à zéro.*

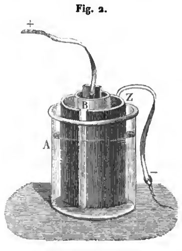
| | |
|---|---|
| Argent | 100,00 |
| Cuivre | 94,00 |
| Or | 65,46 |
| Aluminium | 44,49 |
| Cadmium | 24,56 |
| Zinc | 24,16 |
| Fer | 18,80 |
| Étain | 13,66 |
| Platine | 10,16 |
| Plomb | 8,25 |
| Mercure | 1,62 |

*Pouvoirs conducteurs des liquides par rapport à celui de l'argent.*

| | |
|---|---|
| Argent pur | 100000000,00 |
| Eau acidulée par $\frac{1}{12}$ d'acide sulfurique | 76,34 |
| Acide azotique à 36 degrés | 105,41 |
| Dissolution de sulfate de cuivre à 19 degrés. | 7,25 |
| Dissolution de chlorure de sodium | 42,24 |
| Dissolution de sulfate de zinc | 7,79 |

Ces conditions théoriques étant posées, on conçoit ai-

Fig. 2.




sément quelle doit être la disposition générale d'une pile

à courant constant (*fig.* 2). Un vase extérieur A contient l'élément négatif Z et le liquide comburant; le pôle — aboutit à l'élément qui se consume. Un vase poreux B, contenant le conducteur positif et la matière qui le protége, est plongé au centre, et le pôle + correspond à l'élément préservé.

Maintenant examinons les divers modèles de piles qui sont actuellement en usage; étudions-en les éléments constitutifs, la dépense, puis le travail qu'ils sont aptes à fournir.

## II. — Étude des modèles de piles actuellement en usage.

On peut diviser les piles électriques en deux classes bien distinctes :

1° Les piles à forte intensité et à courte durée;

2° Les piles à faible intensité et à longue durée.

Qu'une pile appartienne à la première classe ou à la seconde, il y a une partie du couple qui est commune, c'est le foyer électrique qui comprend le zinc et l'eau acidulée par l'acide sulfurique. A ce liquide, on substitue parfois une dissolution de chlorure de sodium : la force électromotrice se trouve peu modifiée. C'est donc la seconde partie du couple qui, suivant sa constitution, fait varier les qualités de la pile.

### Première classe. — *Piles à forte intensité et à courte durée.*

On voit, d'après le tableau des forces électromotrices des métaux (p. 7), que les électriciens ne connaissent

pas encore de combustible plus propice que le zinc au dégagement de l'électricité; les amalgames de métaux alcalins (potassium, sodium) fourniraient un dégagement bien plus intense, mais une pile de ce genre ne serait nullement pratique, tant par son prix de revient, que par le peu de durée de son courant.

*Pile à acide nitrique.* — La première partie du couple se compose d'un cylindre de zinc amalgamé et d'eau acidulée au $\frac{1}{10}$ par l'acide sulfurique, contenus dans un vase de grès ou de verre. La seconde partie consiste en un vase de terre poreuse qui renferme un charbon de cornue, cylindrique ou prismatique, plongé dans l'acide nitrique à 36 ou mieux à 40 degrés. Au zinc est fixé le conducteur *négatif*, au charbon le conducteur *positif*.

Certaines précautions doivent être prises à l'égard de toutes les piles. Il faut amalgamer le zinc avec la plus petite quantité de mercure possible. Pour cela, on *décape* le zinc dans de l'eau fortement acidulée par l'acide sulfurique, puis on le tourne dans une cuve de bois qui contient du mercure; on le brosse de façon à ce qu'il s'amalgame uniformément, et on laisse égoutter l'excès de mercure. On peut aussi amalgamer le zinc, plus rapidement, mais peut-être moins solidement, en l'immergeant dans un bain mercuriel (dissolution de mercure dans l'eau régale, avec addition de 1 volume d'acide chlorhydrique et 2 volumes d'eau).

Le charbon de pile est obtenu en cuisant une pâte faite avec du charbon de cornue, du goudron de brai et

de l'argile; on moule cette pâte et on la recuit. On taille quelquefois aussi les conducteurs dans les pains de charbon qui sont directement extraits des cornues à gaz. Ces charbons ne sont pas également conducteurs de l'électricité, par cela même qu'ils ne contiennent pas la même proportion d'argile; on en trouve même de très-siliceux.

Aussi la pile à acide nitrique, telle que Grove l'avait d'abord établie, est-elle plus puissante en intensité que celle de Bunsen. Grove employait le platine comme conducteur positif; Bunsen n'a fait que substituer le charbon, qui est moins coûteux, à ce métal, qui se détériore mécaniquement et qui rend le prix de revient du couple trop élevé. Nous avons proposé (1) d'adopter la fonte comme conducteur positif de la pile à acide nitrique, en raison de sa meilleure conductibilité; un tel couple acquiert une force électromotrice supérieure de $\frac{2}{100}$ à celle du couple à charbon.

L'acide nitrique doit marquer 36 degrés à l'aréomètre de Baumé, et il peut servir jusqu'à ce qu'il marque 28; au-dessous, l'intensité du courant n'est plus que très-faible et non constante. L'acide nitrique à 40 degrés n'est employé que lorsqu'il s'agit d'avoir des effets très-énergiques pendant un temps assez court, quelques heures. Un couple à acide nitrique fonctionnant d'une façon continue est épuisé au bout de dix heures, douze

(1) *Note sur la passivité du fer et de l'acier et de la fonte* (*Comptes rendus des séances de l'Académie des Sciences*, t. LI, p. 507, et t. LII, p. 930.)

heures au maximum. Pour prolonger son action, il faudrait organiser un système de siphons qui remplaçât l'acide nitrique du vase poreux par de l'acide neuf, ce qui serait peu pratique.

La force électromotrice du couple à acide nitrique et à lame de platine, c'est-à-dire du modèle Grove, est l'unité adoptée pour la comparaison des forces électromotrices des diverses piles; on la représente par 100.

La force électromotrice du couple à charbon varie de 97,5 à 98,5, selon la qualité du carbone employé; celle du couple à fonte passive est identique à celle du couple Grove.

La pile à acide nitrique perd tous les jours de son importance industrielle; dans peu d'années, elle sera reléguée dans les laboratoires de recherches.

Grâce aux machines magnéto-électriques, la lumière électrique s'obtient avec promptitude, économie et salubrité; dès que le prix de revient de ces belles machines sera plus abordable, on ne voudra plus monter, dans aucun établissement, ces piles qui déversent autour d'elles un gaz aussi dangereux que l'acide hypo-nitrique.

M. Ruhmkorff nous a indiqué un procédé qui neutralise les émanations de vapeurs hyponitriques. Ce procédé consiste à filtrer l'acide nitrique sur des cristaux de bichromate de potasse. La force électromotrice de la pile ne change pas, et les émanations cessent.

La dépense par heure d'un couple à acide nitrique (grande dimension) s'établit ainsi :

| | |
|---|---|
| Zinc.................. | 30,00 gr |
| Acide sulfurique....... | 44,24 |
| Acide nitrique........ | 57,27 |

Si la résistance extérieure augmente, la dépense augmente aussi; c'est le cas de la production de l'arc voltaïque. Malgré ses inconvénients, on ne connaît pas de pile qui soit capable, dans l'état actuel de la science, de remplacer la pile à acide nitrique pour les courants à haute tension.

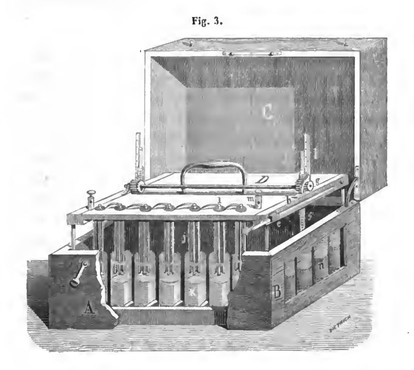
*Pile à bichromate de potasse.* — Cette pile n'est pas, en réalité, à courant constant; elle n'emploie qu'un seul liquide : mais sa constitution est telle, qu'elle est apte à fournir, pour une courte durée, un courant d'une intensité supérieure à celle du couple à acide nitrique.

Le couple à bichromate de potasse se compose d'une lame de zinc et de deux lames de charbon disposées, toutes trois, parallèlement l'une à l'autre. La lame de zinc est mobile verticalement, de telle sorte que l'on puisse la soulever hors du liquide ou l'y plonger, à volonté. Les trois lames, fixées au même support, pénètrent dans un flacon qui contient le liquide actif. Les deux charbons sont reliés ensemble pour constituer l'électrode positive; le zinc, qui est naturellement l'électrode négative, est immergé dès qu'il s'agit de produire l'électricité et soulevé pour arrêter l'action. Le liquide actif est ainsi composé : dissolution concentrée de bichromate de potasse, avec addition de $\frac{1}{100}$ d'acide sulfurique monohydraté.

Cette pile est aujourd'hui très-employée; un couple est capable d'animer, pendant un temps qui dépend du volume du couple, une de ces bobines d'induction de petit format qu'on emploie pour illuminer les tubes de Geissler, donner des commotions, etc. Enfin, tout récemment, la pile à bichromate de potasse a été adoptée pour le service de l'explosion des mines. La pratique a fait reconnaître, paraît-il, que l'inflammation de la fusée de Statebam au moyen de l'étincelle d'induction ne s'obtenait pas avec une sûreté d'exécution suffisante, et qu'il était préférable de revenir à l'ancien système qui consiste à porter à l'incandescence une spirale de platine noyée dans la poudre. Avec une disposition convenable de ces couples, il est très-aisé d'obtenir instantanément le degré d'incandescence du platine nécessaire à l'inflammation de la poudre, d'autant plus que le courant dynamique issu de la pile n'exige pas, pour sa transmission, un isolement rigoureux. Pour l'explosion de la fusée de Statebam, il faut au contraire que le circuit que parcourt l'électricité d'induction soit rigoureusement isolé; sinon, en raison de sa grande tension, le courant dérive dans le sol. Or, dans les mines, ce cas se présente trop fréquemment. On établit actuellement pour cet usage une série de couples renfermés dans une boite (*fig.* 3); un mécanisme permet de plonger, au même instant, tous les zincs dans le liquide; puis il suffit de tourner une sorte de clef, dans un sens ou dans l'autre, pour établir ou supprimer le courant. Ces piles ainsi organisées sont aussi applicables aux besoins de la chirurgie, pour

cautériser les plaies et pour effectuer les ablations au fil incandescent.

Fig. 3.




La théorie du couple à bichromate de potasse est des plus simples. Le zinc est très-vivement attaqué, de là la force électromotrice très-grande du couple. Il n'y a pas de vase poreux qui fasse obstacle à la conductibilité; la résistance du couple est donc diminuée et, par suite, l'intensité est augmentée.

Le bichromate de potasse, on le sait, est un sel très-riche en oxygène et de plus conduit bien l'électricité; l'hydrogène est donc absorbé, pendant un certain temps,

autour des lames de charbon et le courant reste constant en intensité. Le zinc est entouré de deux lames positives pour utiliser l'action qui se produit sur les deux faces du métal usé.

Lorsqu'un tel couple fonctionne d'une manière continue pendant un temps trop long, l'action cesse presque totalement. On peut ranimer le couple en insufflant de l'air dans l'intérieur du liquide. On disperse ainsi l'hydrogène qui, n'étant pas entièrement absorbé par le bichromate, adhère au charbon. A une certaine époque, on avait pensé à appliquer cette pile à la génération de la lumière électrique; on insufflait un courant d'air énergique dans une cuve où plongeaient cinquante de ces couples, mais il a fallu reconnaître que la dépense était exagérée et les conditions d'opération trop peu pratiques. Cependant, M. Grenet, auteur de ce procédé de dépolarisation, se livre à de nouvelles expériences pour atteindre ce résultat.

Cette pile rendra donc de réels services lorsqu'il s'agira d'animer, à un moment donné et pour un temps très-court, une bobine d'induction, ou de déterminer l'incandescence d'un circuit limité.

En raison de l'énergie de l'action chimique de ce couple et de sa faible résistance, son intensité électrique est donc supérieure à celle de la pile à acide nitrique.

M. Ruhmkorff a fait, au sujet de la pile au bichromate de potasse, une observation très-importante. Prenons un couple et employons-le à rougir un fil de platine; il en maintiendra l'incandescence pendant *dix minutes* envi-

ron. Si l'on ne plonge le zinc que du cinquième de sa hauteur, le couple conserve, pendant plus de *six heures*, une intensité qui est le tiers de celle qui correspond à l'immersion totale du zinc.

DEUXIÈME CLASSE. — *Piles à faible intensité et à longue durée.*

Elles sont, au point de vue du sujet que nous traitons, les plus intéressantes et méritent toute notre attention.

Le modèle le plus généralement employé et en même temps le plus ancien est celui que l'on connaît sous le nom de *pile de Daniell;* du reste il n'appartient pas plus à cet auteur que la pile à acide nitrique n'appartient à Bunsen. C'est en 1831 que M. Becquerel père réalisa la première pile à courant constant, en séparant par une paroi perméable les deux électrodes zinc et cuivre plongées dans le même vase. Le zinc était entouré d'eau acidulée par l'acide sulfurique, le cuivre d'une dissolution de sulfate de cuivre. M. Daniell modifia cette forme primitive; mais celle qu'il indiqua n'est pas non plus celle qui est adoptée aujourd'hui. Et, cependant, toutes les piles à sulfate de cuivre sont appelées *piles de Daniell.*

La pile à sulfate de cuivre est encore celle qui, malgré ses inconvénients, convient le mieux aux applications domestiques de l'électricité. Elle est susceptible de recevoir plusieurs formes, et ces modifications ont toutes leur raison d'être.

La forme la plus générale, celle qui est dite *télégraphique*, est la suivante. Le vase extérieur renferme l'élément zinc et l'eau acidulée par l'acide sulfurique, le vase

poreux contient une dissolution de sulfate de cuivre et une lame de cuivre. On substitue avantageusement à cette lame une simple tige terminée par un disque; le cuivre réduit forme autour du conducteur positif un cône massif qui est plus aisément exploitable. L'entretien de la pile consiste à renouveler l'eau qui s'évapore dans le vase extérieur et les cristaux de sulfate de cuivre qui se décomposent dans le vase poreux. On *charge* le couple à sulfate de cuivre soit avec de l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{20}$, soit avec de l'eau tenant du chlorure de sodium en dissolution; la force électromotrice du couple, en représentant par 100 la force électromotrice de la pile à acide nitrique, varie

Avec l'eau saturée de chlorure de sodium....... de 60 à 63
Avec l'eau acidulée par l'acide sulfurique au $\frac{1}{20}$.. de 57 à 58

On conçoit que l'on réalise ainsi une pile à courant constant, puisque, tant qu'il y a du zinc, il suffit de maintenir saturée la dissolution de sulfate de cuivre qui environne le conducteur positif. Le travail chimique du couple ayant pour effet de déposer du cuivre adhérent sur l'élément positif, sa conductibilité n'est nullement altérée.

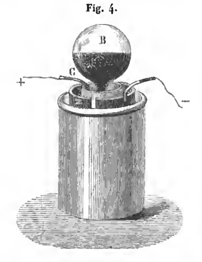
Le couple à sulfate de cuivre est éminemment apte à tous les services qui nécessitent de longs circuits et n'utilisent qu'une quantité très-faible d'électricité.

Depuis quelques années, on a proposé un très-grand nombre de modèles de piles à courant constant « à faible intensité et à longue durée ». Malgré la vogue qu'elles

ont pu avoir à l'origine, on revient encore aujourd'hui à la pile à sulfate de cuivre. Mais ce mode de dépolarisation par le sulfate de cuivre peut être appliqué sous des formes différentes, et chacune de ces formes a un intérêt pratique.

*Pile à ballon.* — Ce modèle (*fig.* 4) ne change en

Fig. 4.




rien la force électromotrice et la résistance de la pile théorique; il a exclusivement pour but de maintenir la constance du courant, en maintenant au même degré de concentration la dissolution de sulfate de cuivre qui environne le conducteur positif, car la conductibilité d'un liquide salin varie avec la proportion de sel dissous.

Voici comment on arrive à ce résultat : un ballon, rempli moitié par des cristaux de sulfate de cuivre, moitié par une dissolution du même sel, est fermé par un bouchon muni d'un tube ouvert, et renversé dans le

vase poreux qui contient aussi une dissolution de sulfate de cuivre et le conducteur métallique. Que se produit-il, lorsque le couple fonctionne? L'hydrogène réduit la dissolution de sulfate de cuivre, la densité de ce liquide diminue et la dissolution contenue dans le ballon descend en raison de sa plus grande densité, jusqu'à ce que l'équilibre se rétablisse entre le liquide du vase poreux et celui du ballon; et ainsi de suite, puisque le liquide qui remonte se sature au contact des cristaux de sulfate de cuivre.

En donnant à un tel couple des dimensions assez grandes, on peut animer de la façon la plus régulière des moteurs aussi délicats que les horloges électriques. Le service des cadrans de renvoi sur les lignes de chemins de fer, dans l'intérieur des hôtels et des grandes administrations, est exécuté par des couples de ce genre, qui ont 40 centimètres de hauteur sur 25 de diamètre.

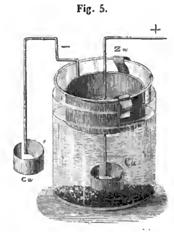
La dépense d'un couple de ce modèle est du reste la même que celle d'un couple de forme ordinaire.

*Couples sans vase poreux.* — Dans l'évaluation de la *résistance* d'un couple, il faut non-seulement considérer les éléments constitutifs du couple, mais aussi les éléments intermédiaires. Le plus important, parmi ceux-ci, est le *vase poreux* qui sépare l'élément négatif de l'élément positif; ce vase n'est jamais assez perméable pour permettre une communication, sans écoulement, entre les deux liquides; il s'obstrue par suite de dépôts de cristaux, de métal même; sa résistance à la conductibilité change en quelque sorte proportionnellement à la

durée du couple. Les inventeurs de piles ont donc cherché à supprimer cette cause de résistance intérieure de la pile, pour augmenter ainsi l'intensité du courant qu'elle est capable d'émettre. Les modèles qui ont surtout reçu la sanction de la pratique sont dus à M. Callaud et à M. Minotto.

*Pile Callaud.* — L'auteur s'appuie sur le principe de la superposition des liquides par ordre de densités : le couple (*fig.* 5) se compose d'un seul vase destiné à en

Fig. 5.




contenir tous les éléments. Le zinc *Zn* est accroché sur les bords du vase, de façon à ne plonger qu'au tiers de la hauteur du liquide ; une spirale en cuivre *Cu*, reposant sur le fond du vase, constitue l'élément positif. Pour charger le couple, on commence par remplir le vase d'eau acidulée par l'acide sulfurique ; puis, à l'aide d'un entonnoir à long tube, on y verse une dissolution concentrée de sulfate de cuivre qui, en raison de sa densité,

vient soulever l'eau acidulée et environner complétement le conducteur *Cu*. Préalablement, on a placé au fond du vase des cristaux de sulfate de cuivre qui maintiendront à l'état de saturation le liquide dépolarisateur.

D'après ce qui a été dit, la résistance de cette pile est moindre que celle du modèle télégraphique, puisque le vase poreux est supprimé; son intensité est donc plus grande.

Ce couple présente un inconvénient, c'est de ne pouvoir supporter un déplacement par suite duquel les deux liquides se mélangeraient; mais il offre cet avantage, qu'une fois à poste fixe, et s'il est de grande dimension, il fournit un courant de quantité dont l'intensité est très-constante.

*Pile Minotto.* — L'auteur a perfectionné la pile Callaud en la rendant aisément transportable. Le couple se compose d'un bocal, au fond duquel on place un disque de cuivre qui constitue l'élément positif; on couvre ce disque d'une couche de sulfate de cuivre pulvérisé, puis d'un lit de sable fin qui supporte le zinc, l'élément négatif. Par-dessus le zinc, on verse de l'eau qui, s'infiltrant peu à peu à travers le sable, va agir sur le sulfate du cuivre. Le disque de cuivre doit avoir à peu près le même diamètre que l'intérieur du bocal. Sa distance au zinc se règle d'après la résistance du circuit extérieur. L'épaisseur de la couche de sulfate de cuivre doit être la plus forte possible, de manière à ne laisser au-dessus d'elle que la hauteur strictement nécessaire pour le sable et l'eau. Enfin, le sable doit être d'une pureté absolue,

c'est-à-dire ne contenir aucun élément attaquable par l'acide sulfurique. Une fois montée, la pile n'exige d'autre entretien que le remplacement de l'eau évaporée.

D'après M. Minotto, le système de pile sans vase poreux, notamment le sien, donne une économie sur le couple à sulfate de cuivre ordinaire à vase poreux, de 26 pour 100 pour la construction, et de 71 pour 100 pour l'entretien.

Troisième classe. — *Couples à éléments dépolarisateurs solides.*

Au point de vue de la simplification de l'entretien du couple, on devait penser à substituer une matière solide avide d'hydrogène au liquide préservateur. Mais cet élément, oxyde ou chlorure, est toujours plus mauvais conducteur de l'électricité que l'acide nitrique, la dissolution de sulfate de cuivre, etc. La résistance du couple étant plus grande, à constance égale, l'intensité de la pile est moindre. Cet accroissement de résistance est sans inconvénient dans le service des lignes télégraphiques à longue portée; mais, pour une résistance extérieure peu considérable, la force électromotrice du couple subit de grandes variations (1).

Pendant un certain nombre d'années les Administra-

(1) Étant donnée la formule $I = \frac{E}{R+L}$, L représentant le circuit extérieur, on comprend que si L est très-considérable, la valeur de I ne varie pas sensiblement suivant celle de R. L étant 100 000 kilomètres, peu importe, en effet, que R soit 200, 300 ou 500 mètres.

tions télégraphiques, notamment l'Administration française, ont adopté la pile à sulfate de mercure de M. Marié-Davy.

*Pile à sulfate de mercure.* — Le sulfate de protoxyde de mercure est réduit par l'hydrogène plus aisément encore que le sulfate de cuivre, et, comme il est insoluble, sa filtration à travers les pores du vase intérieur n'est pas à craindre; du reste, la précipitation du mercure sur le zinc n'aurait pour effet que de mieux l'amalgamer et, par suite, de le rendre plus électropositif. Dans la pile à sulfate de cuivre, même dans le modèle à vase poreux, *à fortiori* dans les autres, le cuivre se dépose sur le zinc, et il se forme, dans cette circonstance, un couple local dont l'intensité combat celle du couple élémentaire. Revenons à la pile à sulfate de mercure : on la charge en plaçant la pâte de sulfate de mercure et d'eau dans le vase poreux autour d'un cylindre de charbon qui sert de conducteur. La force électromotrice de ce couple est plus grande que celle du couple à sulfate de cuivre dans le rapport de 1,40 à 1, et plus faible que celle du couple à acide nitrique dans le rapport de 1,32 à 1 : c'est, à ce point de vue, un juste intermédiaire entre ces deux piles que l'on peut considérer comme les *types* des piles à *haute* et à *faible* intensité. Mais, pour plus d'éclaircissement sur le rôle de cette pile, voici les conclusions de la Commission de perfectionnement de l'Administration française des lignes télégraphiques :

« Les couples à sulfate d'oxydule de mercure ($Hg^2O, SO^3$) n'offrent pas, pendant leur action, comme les précé-

dents, une force électromotrice à peu près constante et indépendante de la résistance du circuit; car, si cette résistance ne dépasse pas une certaine limite lorsque le circuit est fermé, la force électromotrice diminue d'autant plus que la résistance est moindre. En outre, il donne quelquefois lieu à des variations dans l'intensité du courant, par suite de différentes causes dont quelques-unes ont été signalées dans les Rapports présentés à la Commission, et ils ont l'inconvénient de renfermer une substance très-vénéneuse. Mais, lorsqu'on a soin de maintenir le même niveau de liquide dans leur intérieur, que le sel mercuriel ne fait pas défaut, que leurs dimensions sont suffisantes et qu'ils sont placés sur des lignes très-résistantes, ils peuvent donner de bons résultats. Il serait nécessaire que le sel mercuriel destiné à ces couples eût une composition et un état physique parfaitement définis et toujours les mêmes pour éviter les difficultés provenant de l'emploi de produits défectueux. »

Pour ces piles, on recommande les dimensions suivantes :

Vase extérieur : hauteur $= 0^{m},12$, diamètre $= 0^{m},095$; charbon $= 0^{m},14$; zinc $= 0^{m},09 \times 0^{m},08 \times 0^{m},04$.

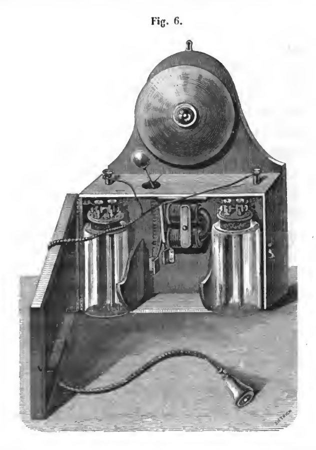
D'après les conclusions de ce Rapport, le service télégraphique français a renoncé à employer cette pile, qui avait eu la vogue pendant quelques années, pour en revenir à la pile à sulfate de cuivre, sans vase poreux.

*Pile Grenet.* — M. Grenet a imaginé une pile à sulfate de mercure, sans vase poreux, qu'il applique avec

succès aux sonneries et aux tableaux d'appartement. Cette pile marche pendant huit à dix mois sans exiger d'autre entretien que le renouvellement de l'eau de temps à autre.

Le couple se compose (*voir* les couples que contient la *fig.* 6) d'une tige de zinc amalgamé et d'une lame de

Fig. 6.



charbon adaptées à un même bouchon. Celui-ci ferme un

flacon de forme prismatique, dans lequel se trouve une dose de bisulfate de mercure mesurée pour un temps déterminé (six à huit mois). Il suffit de verser de l'eau dans le flacon, aux deux tiers de sa hauteur, et de délayer le sel mercuriel pour que la pile fonctionne. Le couple Grenet (pour sonnerie) mesure 10 centimètres de hauteur sur 5 de largeur; il est chargé par 30 grammes de bisulfate de mercure pour 100 grammes d'eau. La réaction qui se produit est très-simple à comprendre : le bisulfate de mercure est acide, le zinc s'attaque, l'hydrogène de l'eau décomposée va réduire le sel de mercure qui environne le charbon; il n'y a donc pas de polarisation. L'expérience prouve la constance de cette pile et son aptitude aux différents services de l'électricité à domicile (tableaux de service, sonneries, etc.).

*Piles à sels ammoniacaux.* — Il y a quelques années, on fondait de grandes espérances sur ce genre de piles. On abandonnait, en sa faveur, la pile à sulfate de mercure, tant pour le service télégraphique que pour celui des divers appareils mécaniques; mais l'expérience a prouvé depuis que la constance d'un tel couple n'est pas plus grande que celle de la pile à sulfate de mercure, et qu'il ne peut fonctionner convenablement que sur des lignes à grande résistance. Cette pile aurait, en outre, l'inconvénient de donner un dégagement de gaz ammoniac.

Voici, du reste, pour ces sortes de couples, l'appréciation de la Commission de perfectionnement des lignes télégraphiques :

« Les couples, dans lesquels le charbon est entouré d'un mélange de peroxyde de manganèse et de graphite, et qui contiennent une dissolution de sel ammoniac, peuvent être appliqués au service télégraphique. On les établit aisément, et ils ont une assez longue durée. Il importe de remarquer toutefois qu'ils offrent une période de décroissance rapide dans leur force électromotrice, après laquelle cette décroissance est lente mais continue. Quand la résistance de la ligne est trop faible, la période de décroissance est telle, que le courant devient trop peu intense.... »

Nous signalerons, comme la disposition la meilleure dans ce genre, la pile imaginée par M. Devos. L'auteur applique au principe précédent la suppression du vase poreux; par suite, l'intensité du couple est augmentée, et de plus l'élément dépolarisateur et l'élément actif sont mélangés autour du conducteur positif.

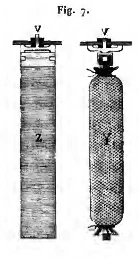
Ce conducteur consiste en une lame de graphite qui divise le vase en deux parties : d'un côté est le zinc, de l'autre un mélange de coke concassé et de sel ammoniac. On charge le couple avec de l'eau pure, le sel ammoniac se dissout et l'action a lieu : le zinc disparaît à l'état de chlorure, et le graphite joue le rôle de dépolarisateur mécanique. L'expérience a prouvé que, sur des lignes de résistance très-variable, cette pile reste, toutes choses égales d'ailleurs, supérieure en intensité à la pile à sulfate de cuivre.

*Pile à chlorure d'argent.* — L'année dernière, M. Warren de la Rue, le célèbre photographe des astres, a apporté

en France un couple dont la construction est assez originale, mais qui est cependant susceptible d'être appliqué, notamment à l'électricité médicale.

Chaque couple se compose (*fig.* 7) d'une lame de

Fig. 7.




zinc Z et d'une lame de chlorure d'argent fondu Y contenues dans un flacon de caoutchouc durci que ferme hermétiquement un bouton à vis. Les conducteurs V et V' sont des crampons d'argent qui soutiennent les deux électrodes zinc et chlorure d'argent. Le liquide actif est de l'eau qui contient 3 à 5 pour 100 de sel marin. L'argent, qui provient de la réduction du chlorure, peut être soit fondu, soit ramené à l'état de chlorure. Deux couples de ce genre, ayant pour dimensions 8 centimètres sur 2, suffisent pour animer un appareil électro-médical, et faire soixante opérations de dix minutes chacune.

M. Gaiffe a appliqué cette pile (*fig.* 8) à son appareil

Fig. 8.



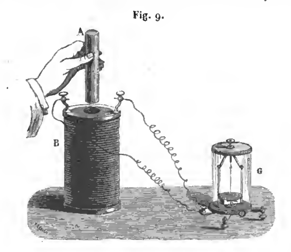

électro-médical. Cette pile, perfectionnée par l'habile constructeur, n'exige que deux couples pour animer très-énergiquement l'organe électromoteur de l'appareil. La force électromotrice de chaque couple est mesurée par 50, si on la compare à celle d'un couple à acide nitrique. Ces éléments peuvent fonctionner vingt-quatre heures sans interruption.

### III. — Sources magnétiques d'électricité.

*Principes généraux.* — L'étude de l'électricité d'origine magnétique présente un très-grand intérêt, car elle conduit à la solution du problème fondamental de la philosophie naturelle et de l'électricité appliquée : celui de l'équivalence des forces physiques.

Soit une bobine B, sur laquelle (*fig.* 9) est enroulé un fil de cuivre dont les spires sont convenablement isolées; introduisons un aimant A dans l'intérieur de cette

Fig. 9.




bobine, nous recueillerons immédiatement un courant aux extrémités du fil : c'est un *courant induit magnéto-électrique*. Laisse-t-on l'aimant dans la bobine, tout courant cesse, mais dès qu'on le retire, un second courant électrique parcourt le fil en sens *inverse* du premier. Il en serait de même si un circuit, parcouru à intervalles alternatifs par le courant direct d'une pile, se trouvait dans le voisinage d'un conducteur à l'état neutre. Lors de l'émission du courant de la pile dans le circuit *inducteur*, un courant *direct* se manifesterait dans le circuit voisin, et lors de sa suppression ce serait un courant inverse.

C'est sur l'heureuse combinaison de ces deux effets qu'est fondée la fameuse bobine d'induction de Ruhmkorff. Elle a pour but de transformer une espèce d'élec-

tricité, celle qui est dite *dynamique*, en une autre qui est à la fois dynamique et de tension, ce qui est très-important; mais nous ne devons pas classer cet appareil parmi les générateurs d'électricité, puisqu'il n'est réellement qu'un *transformateur*.

Les appareils magnéto-électriques tendent à remplacer les piles dans le service de la télégraphie électrique, et surtout dans les applications mécaniques de l'électricité. L'avantage d'un tel générateur est indiscutable. La pile, quelle que soit sa simplicité, exige une manœuvre longue et délicate, un entretien très-régulier, et est, en somme, dispendieuse. Avec un générateur magnéto-électrique, il suffit, l'appareil une fois acheté, de fournir une action mécanique pour obtenir son équivalent en électricité.

Comme les appareils de l'ordre télégraphique n'exigent qu'une très-faible quantité d'électricité, il suffit, pour les faire fonctionner, de donner aux générateurs magnéto-électriques des dimensions assez restreintes.

L'idée première de ces appareils date de l'invention même de la télégraphie électrique; mais les découvertes successives de Gauss et Weber, de Stenheil, de Wheatstone, de Glœsener, de Siemens ne convainquirent pas les télégraphistes. A Londres cependant, où la télégraphie est libre comme toute grande industrie doit l'être, l'*Universal Private Company* dispose d'un câble à cinquante fils, qu'on loue aux industriels qui veulent établir une communication entre leurs bureaux et les centres principaux de l'immense métropole. Le service serait peu aisé par l'entremise de la pile; il faut un télégraphe

qui porte tout avec lui et qui, par conséquent, soit toujours prêt à fonctionner : c'est ce que réalise l'emploi des courants magnéto-électriques.

Sachant que les courants induits ont tous les *caractères télégraphiques*, qu'ils franchissent les plus longs circuits en conservant la force d'aimantation nécessaire au jeu des appareils, que la source augmente d'intensité avec le temps, il y a lieu de s'étonner du peu d'intérêt que les administrations officielles attachent encore à l'emploi des courants induits.

Ces intéressants générateurs sont appelés à jouer un grand rôle dans le genre d'applications qui nous occupe. Quant à la pile, son emploi deviendra de plus en plus limité.

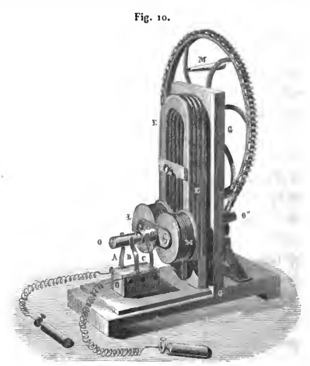
D'après ce qui a été dit précédemment, on comprend qu'on réalisera un générateur magnéto-électrique en aimantant et en désaimantant alternativement un noyau de fer doux placé à l'intérieur d'une bobine recouverte de fils métalliques; mais il y a différentes manières de résoudre la question.

La plus ancienne est due à Pixii, constructeur français. Il faisait tourner au-dessous d'un électro-aimant un fort aimant permanent en fer à cheval, dont les pôles en s'approchant, puis en s'éloignant de ceux de l'électro-aimant, remplissaient le rôle d'un barreau aimanté qu'on aurait enfoncé, dans l'hélice induite, puis qu'on en aurait retiré; un commutateur, gouverné par l'axe de rotation de l'aimant, permettait en outre d'alterner les courants, de manière à les avoir toujours de même sens.

Cette machine fonctionna en 1832, au cours professé par Ampère à la Sorbonne.

*Machine de Saxton.* — Un Américain, Saxton, construisit un appareil d'une forme plus convenable; c'est celui qui est connu dans les cabinets de physique sous le nom d'*appareil de Clarke* (*fig.* 10), bien que ce dernier n'ait modifié en aucune façon l'idée de Saxton.

Fig. 10.



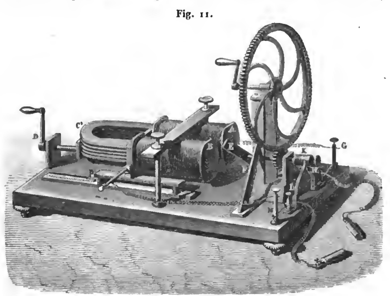

Quoique cet appareil ne soit employé que dans les expériences de cours, il pourrait, avec un aimant énergique et des bobines munies d'un fil dont la longueur soit en rapport avec la force de l'aimant, servir de géné-

rateur pour le service télégraphique sur un circuit qui ne serait pas doué d'une trop grande résistance.

On a imaginé des générateurs, très-utiles dans les cas spéciaux, qui sont fondés sur un principe d'induction aussi curieux que fécond en applications. Ce principe, dû à M. Page, est celui-ci : un aimant étant à poste fixe dans l'intérieur d'une bobine, si l'on accroît son intensité magnétique, un courant induit *inverse* se développe dans le circuit du fil de la bobine; dès que la surexcitation de l'aimant cesse, un courant induit *direct* prend naissance.

Comment mettre ce principe en action? Il existe un procédé très-simple (il a ensuite été modifié de plusieurs manières par MM. Page, Breton, Duchenne et autres)

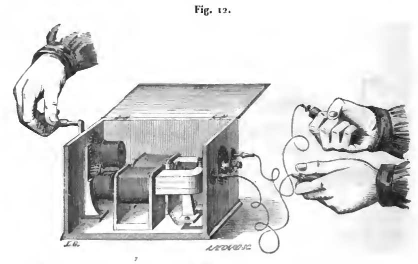
Fig. 11.



qui consiste (*fig.* 11) à faire tourner une palette de fer

doux devant les faces d'un aimant dont les branches pénètrent dans les noyaux de bobines accouplées de façon que le même fil s'enroule en sens inverse sur chacune d'elles. Dans la position horizontale, le fer doux accroît par son influence la puissance magnétique effective de l'aimant, et cette influence cesse dans la position verticale. En donnant à cette armature mobile une certaine masse, et une dimension convenable par rapport au fil des bobines, on réalise ainsi un générateur qui pourrait être utilement employé à la production des signaux, etc. Mais, comme il existe d'autres systèmes, on l'applique exclusivement à la production des effets physiologiques. Rien n'est plus simple, pour graduer l'énergie des *secousses*, que d'approcher ou d'éloigner l'armature de fer doux des bobines.

Fig. 12.



*Machine de Gaiffe.* — M. Gaiffe a introduit dans ces

appareils un perfectionnement qui augmente beaucoup leur énergie (*fig.* 12). L'intelligent constructeur emploie, au lieu de fer doux, un électro-aimant; on obtient ainsi deux sources d'induction au lieu d'une et l'on peut utiliser chacun des courants isolément, ou les combiner de façon à donner lieu à un courant unique plus intense. Grâce à cette disposition, on peut avoir, sous un volume restreint, un appareil doué d'une très-grande énergie au point de vue des effets physiologiques.

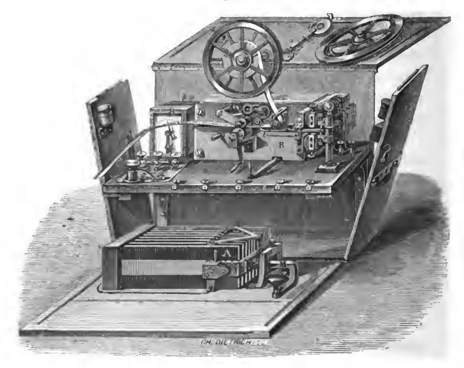
*Clef magnéto-électrique.* — M. Henley, pour son télégraphe à aiguilles, a le premier construit une *clef magnéto-électrique* qui, sous des formes diverses et convenablement choisies, satisfait on ne peut mieux aux services dont nous devons nous occuper.

Dans une boîte se trouve à poste fixe un faisceau d'aimants permanents. Vis-à-vis sont deux bobines dont les noyaux en fer doux sont reliés extérieurement par une semelle de fer doux; leur axe est susceptible de recevoir, à l'aide d'une touche, un mouvement d'inclinaison qui éloigne les fers des bobines à 90 degrés des pôles de l'aimant fixe. On peut donc très-rapidement obtenir des courants alternativement inverses et directs.

MM. Digney ont appliqué cette clef magnéto-électrique à la leur télégraphe *Morse-Digney,* qu'ils ont rendu susceptible de fonctionner au moyen des courants d'induction. La clef, représentée (*fig.* 13) est l'organe électrique par excellence des postes militaires.

Selon sa dimension, ce *manipulateur* émet des courants à 10, 20, et 50, 100 et plus de 200 kilomètres.

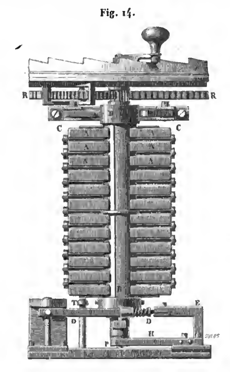
Fig. 13.



*Hélice magnétisante Siemens.* — On doit au savant électricien Siemens une disposition d'hélice magnétisante qui a permis de doter les générateurs magnéto-électriques d'une puissance effective bien plus considérable. Cette hélice a du reste servi, en principe du moins, à la construction de générateurs à haute intensité, qui portent des noms autres que celui de *Siemens*.

A, A (*fig.* 14) constituent une série d'aimants droits et fixes, disposés verticalement et réunis par leurs pôles de

Fig. 14.




même nom, à l'aide d'une semelle de fer doux. L'électro-aimant est constitué par un cylindre de fer doux, sur le quel une large rainure est pratiquée dans le sens de sa longueur. Ce vide est comblé par l'enroulement du fil destiné à fournir le courant induit; par précaution, le fil est masqué par une lame de cuivre sur chacune des faces. Ce cylindre ne présente donc en dehors que deux lames de fer séparées par deux lames de cuivre. Si l'on anime un tel organe d'un mouvement de rotation continu, on

conçoit qu'à chaque demi-circonférence, le fer se trouve alternativement soit en face des pôles des aimants, soit à 90 degrés d'écartement angulaire. Or, dans la position première, un courant induit inverse se produit dans le fil de la bobine, et, dans la seconde, c'est un courant induit direct. Cette disposition de bobine est éminemment propre à développer l'induction ; on utilise, en effet, l'action magnétique qui s'exerce sur tous les points du circuit inducteur. Un tel générateur est, en outre, très-commode pour faire fonctionner des appareils télégraphiques indicateurs, et même des appareils imprimeurs.

*Machine magnéto-électrique.* — Le principe de l'hélice magnétisante, dû à Siemens, a été appliqué pour l'établissement de générateurs magnéto-électriques à haute intensité. On a pu voir à l'Exposition de 1867 une machine, qui avait été construite d'après les indications de M. Ladd, et qui, utilisant le mouvement de rotation d'une hélice entre les pôles d'un électro-aimant, pouvait, sous un très-petit volume, engendrer l'arc voltaïque. Mais la vitesse de rotation qu'il fallait donner à l'hélice était telle, qu'il eût été dangereux, pour les organes de la machine, d'opérer d'une façon continue, seulement pendant un quart d'heure.

Ces machines ont cependant un rôle à jouer dans l'avenir ; car leur construction est basée sur un principe électrique excellent, et par suite très-fécond ; c'est donc une question de perfectionnement. Ainsi déjà, sous un format restreint, on peut construire un générateur d'électricité capable de produire l'incandescence d'un fil, d'une

spirale, d'une lame de platine. M. Ruhmkorff a construit, dans de petites dimensions, une machine système Ladd, qu'on a utilisée pour produire l'explosion des mines en enflammant une spirale de platine, de 1 centimètre de long et de 1 millimètre de diamètre.

Le générateur magnéto-électrique à haute intensité qui est actuellement pratique, c'est-à-dire qui transforme le plus avantageusement la force mécanique en électricité, est celui dont le principe a été donné en 1849 par M. Nollet, alors professeur de physique à l'École militaire de Bruxelles. L'auteur se proposait exclusivement, au début, de construire une machine de Clarke sur une grande échelle. La mort l'arrêta, alors que son œuvre n'était pas encore achevée. Sa *machine* devint l'objet d'une spéculation folle; on pensa l'appliquer à décomposer l'eau *en grand*, et à produire du gaz hydrogène pour l'éclairage. Une compagnie anglo-française s'était formée, des machines avaient été commandées. On rirait aujourd'hui d'une telle idée, et cependant elle était patronnée par des personnages *sérieux* et haut placés.

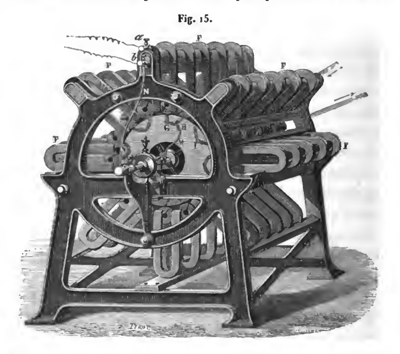
Cette machine ne sert plus aujourd'hui qu'à la production de la lumière électrique.

A la mort de M. Nollet, ce générateur restait bien imparfait; on doit son perfectionnement à M. Joseph Van Malderen qui assistait l'auteur depuis l'origine de ses travaux.

Si l'on considère la machine dans son ensemble, on reconnait immédiatement que le principe physique de sa construction est celui de Pixii; la disposition mécanique

(*fig.* 15) due à M. Nollet permet d'utiliser dans un même circuit les courants émis, partiellement, par plusieurs bobines mobiles impressionnées par plusieurs aimants

Fig. 15.



fixes. Les bobines sont rangées régulièrement au nombre de seize sur une roue de bronze portant des empreintes appropriées, et y sont maintenues par des colliers; cet ensemble, qui constitue le *disque*, tourne entre deux rangées d'aimants en fer à cheval, supportées parallèlement par un bâti spécial. Chaque rangée compte huit aimants, présentant seize pôles régulièrement espacés; il y a donc autant de pôles que de bobines, et, quand l'une d'elles se trouve en face d'un pôle, les quinze autres

doivent se trouver dans la même position. On peut multiplier dans une même machine le nombre des disques en les montant sur un même arbre, ainsi que le nombre des aimants en les montant sur un même bâti; on ne dépasse généralement pas le nombre de six disques, car les machines deviendraient trop longues et il serait difficile d'éviter les flexions de l'arbre et du bâti.

Les bobines sont reliées de façon que leurs courants partiels s'ajoutent en tension, comme s'il s'agissait de couples voltaïques : la machine a donc deux pôles, positif et négatif, comme une pile.

La théorie de la génération de l'électricité dans cette machine est exactement la même que dans celle de Pixii; il est donc inutile de l'exposer de nouveau. Ce qu'il faut dire, c'est que, grâce à M. Van Malderen, les divers éléments de l'appareil ont été l'objet de tels perfectionnements, les conditions dans lesquelles il fonctionne ont été l'objet d'études si approfondies, que la *machine magnéto-électrique* (1) de M. Nollet est actuellement le générateur de la lumière électrique à bon marché.

### IV. — Transformation de la chaleur en électricité.

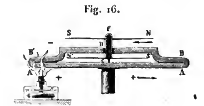
*Considérations générales.* — La dernière source d'électricité dont nous parlerons n'a accès dans l'industrie que depuis trois ans à peine, et cependant elle date, en prin-

(1) Cette machine est la propriété de M. Berlioz, directeur de la Cie l'Alliance; c'est ce qui motive son nom vulgaire de *machine électrique de l'Alliance*.

cipe, de 1821. C'est la *thermo-électricité* ou transformation de la chaleur en électricité. Nous avons suffisamment insisté sur l'équivalence des forces physiques pour être dispensé de discuter la rationnalité de la transformation de la chaleur en électricité; mais il est important de savoir s'il est donné de recueillir en électricité l'équivalent de la dépense faite en chaleur. Si cela était, le grand problème de l'électricité à bon marché serait résolu, la dépense calorifique d'un bec de gaz fournirait amplement la quantité d'électricité nécessaire au télégraphe transatlantique. Malheureusement il n'en est pas ainsi, les générateurs thermo-électriques ne rendent, en électricité, qu'une proportion excessivement petite de la chaleur fournie.

Disons en quelques mots ce que l'on doit entendre par courant thermo-électrique. L'expérience première faite par Seebeck, en 1821, est restée classique. Un circuit, en forme de rectangle, est composé par un barreau de bismuth soudé par ses extrémités à une lame de cuivre (*fig.* 16);

Fig. 16.




dans l'intérieur on place une aiguille aimantée, et tout le système est amené dans le méridien magnétique. Si l'on chauffe l'une des soudures, la déviation de l'aiguille indique la production d'un courant électrique; si l'on

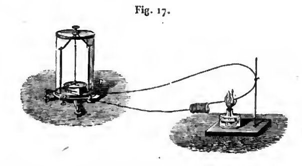
chauffe l'autre soudure, ce courant change de sens, car la déviation de l'aiguille est inverse. Quelle signification donner à cette expérience, si ce n'est que la chaleur en circulant dans ces deux éléments métalliques, *inégalement conducteurs*, a déterminé un mouvement électrique.

*Loi de Becquerel.* — M. Becquerel père a, du reste, résumé bien nettement la théorie probable de cet intéressant phénomène. Toutes les fois que la chaleur se propage dans un conducteur, il y a mouvement d'électricité. Si tout est semblable de part et d'autre du point échauffé, comme conductibilité, on a deux courants électriques contraires et égaux qui s'entre-détruisent; mais si des circonstances physiques modifient la propagation de la chaleur d'un côté plutôt que de l'autre, l'un des courants l'emporte et se manifeste extérieurement.

Aussi, comme il est presque impossible, ou du moins très-difficile d'établir un fil électrique identique en structure dans toutes ses parties, si on rejoint les extrémités à un galvanomètre sensible et si on chauffe en un point, la chaleur se propageant inégalement à droite et à gauche du point d'application, l'aiguille de l'appareil dévie, indiquant un courant électrique qui va de la partie la moins résistante du circuit à celle qui l'est davantage. Cette loi générale est mise en évidence par l'expérience représentée *fig.* 17 et qui est due à M. Becquerel père. Un fil de platine est relié par ses deux extrémités aux pôles d'un galvanomètre, on forme une spirale sur la longueur de ce fil, et on chauffe, d'un côté, à l'aide d'une lampe à

alcool. La spirale formant résistance au passage, un courant décrit le galvanomètre, dans le sens du fil linéaire à la spirale.

Fig. 17.



D'après ce qui vient d'être dit, on établira un *couple thermo-électrique* en associant ensemble deux métaux ou deux éléments qui diffèrent par leur conductibilité calorifique. On conçoit que le champ était vaste pour l'imagination des chercheurs de générateurs d'électricité.

M. Becquerel père, dans un très-grand travail sur la thermo-électricité, mesurant les capacités des métaux associés l'un à l'autre, les avait rangés dans cet ordre : antimoine, arsenic, fer, zinc, or, cuivre, laiton, rhodium, plomb, étain, argent, manganèse, cobalt, palladium, platine, nickel, mercure, bismuth : chaque métal étant positif, par rapport à celui qui le suit, et négatif par rapport au précédent. L'antimoine et le bismuth, étant aux deux extrémités de l'échelle, devaient donc être les éléments de la pile la plus énergique. Mais les propriétés physiques de ces métaux n'ont permis de les employer qu'à la construction de l'admirable appareil employé par

Melloni et Nobili pour l'étude de la chaleur rayonnante, question absolument en dehors de notre cadre. Nous dirons dans un autre Chapitre quelles sont les applications possibles des couples thermo-électriques *métalliques*. Pour l'instant, discutons les conditions auxquelles doit satisfaire un circuit hétérogène pour fournir extérieurement une quantité d'électricité notable relativement à la dépense en chaleur. Ces conditions sont au nombre de trois : pouvoir thermo-électrique considérable, point de fusion élevé, médiocre conductibilité pour la chaleur.

La plupart des métaux satisfont aux deux premières conditions, mais non à la dernière. Mais, ces conditions étant remplies, il y en a une contre laquelle on reste impuissant, c'est la perte de chaleur par rayonnement, cause principale du peu d'électricité que l'on recueille par rapport à la chaleur fournie.

Nous avons posé en principe que l'électricité, dans le couple thermo-électrique, était due à la transformation qu'éprouve la chaleur quand elle rencontre des obstacles à son passage; on conçoit donc qu'on ait cherché à substituer aux métaux, trop bons conducteurs, les corps non métalliques qui se rapprochent d'eux par leurs caractères physiques. On a d'abord associé les métalloïdes aux métaux : toutes les variétés du carbone, le silicium, le bore, l'arsenic, le tellure surtout, sont doués d'un pouvoir thermo-électrique considérable; mais on comprend aisément que leur emploi soit peu pratique. En 1827, M. Becquerel père avait remarqué qu'un fil de

cuivre, sulfuré à sa surface, devient fortement positif lorsqu'il est accouplé avec un fil de cuivre pur : une élévation de température de 200 à 300 degrés détermine dans ce couple un courant capable de décomposer le sulfate de cuivre, le nitrate d'argent et d'autres dissolutions salines de même ordre. L'intensité de ce courant thermo-électrique est supérieure à celle des courants qui proviennent de couples métalliques et aussi de couples formés de métaux associés soit au sulfure de fer, soit au peroxyde de manganèse. Cette observation, très-curieuse, restait simplement consignée dans les Traités, quand l'attention des physiciens se reporta, il y a trois ans à peine, sur la thermo-électricité; dès lors ce fait devint le point de départ de nouvelles et très-intéressantes recherches sur le pouvoir thermo-électrique des corps composés et des alliages. A cette époque, M. Bunsen, dont le nom est illustre dans la science, annonçait qu'en associant la pyrite de cuivre avec un alliage d'antimoine et d'étain, ou même avec le cuivre (afin d'opérer à une température plus élevée), on obtient un couple thermo-électrique qui dépasse en force électromotrice tous ceux de ce genre connus jusqu'à ce jour; il atteignait entre 0 et 500 degrés, environ $\frac{1}{10}$ de l'intensité d'un couple à sulfate de cuivre. Le même savant signalait aussi, comme doué d'une énergie à peu près égale, le couple platine et pyrolusite (bioxyde de manganèse naturel).

*Couple sulfure de cuivre-maillechort.* — M. Ed. Becquerel reprit alors l'ancienne expérience de son père, que la

publication de M. Bunsen remettait en quelque sorte sur le tapis, et la question qu'il traita devint une étude très-étendue sur les propriétés thermo-électriques des sulfures métalliques et du sulfure de cuivre en particulier.

Le soufre est la substance qui modifie le plus profondément le pouvoir thermo-électrique des métaux, pour l'exalter soit dans le sens *positif*, soit dans le sens *négatif*. Ainsi, comme capacité électrique négative, le sulfure de bismuth l'emporte sur le bismuth. Le couple sulfure de bismuth et cuivre est trois fois supérieur en force électromotrice au couple bismuth et cuivre. Quant au sulfure de cuivre, M. Ed. Becquerel reconnaissait un fait de très-haute importance et qui doit s'appliquer à toutes les substances thermo-électriques. La faculté thermo-électrique de la matière est exclusivement dépendante de son état physique. Le sulfure de cuivre, légèrement surchauffé au-dessus de son point de fusion, présente un pouvoir thermo-électrique en quelque sorte exalté. Fondu de nouveau et surchauffé, son pouvoir thermo-électrique est singulièrement diminué, parfois même il disparaît entièrement. Il faut donc apporter le plus grand soin à la préparation de la substance, puisque sa faculté électrique dépend, non de sa constitution chimique, mais de l'état moléculaire que lui impriment les conditions physiques qu'elle subit. Voici comment on prépare le sulfure de cuivre *thermo-électrique* de M. Ed. Becquerel. Au fond d'un grand et large creuset de terre, préalablement porté au rouge, on projette des fragments de soufre

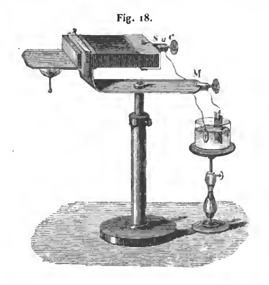
4.

en canon, et on les volatilise; à ce moment, on introduit de larges et épaisses plaques de cuivre rouge qui, d'abord, ont été chauffées dans un fourneau voisin. Ces plaques, suspendues au sein de la vapeur de soufre, l'absorbent entièrement en devenant incandescentes; on règle la marche de l'opération de manière que le sulfure formé ne fonde pas. Pour y arriver, on attaque la plaque en plusieurs fois, détachant successivement le sulfure formé. Ce sulfure se sépare en écailles du plus bel aspect métallique. On le concasse en gros grains et on le fond. La température à obtenir est environ celle de la fusion de l'or; elle est comprise entre 1030 et 1040 degrés; si l'on atteignait 1150 degrés, la matière coulée serait dénuée de tout pouvoir thermo-électrique.

Le sulfure de cuivre prenant, par élévation de température, lorsqu'on l'associe à des corps conducteurs, un excès d'électricité positive, on doit lui adjoindre la substance la plus négative possible. Un grand nombre de minéraux satisferaient à la question, mais leur trop grande résistance à la conductibilité leur fait préférer les métaux ou les alliages. Seebeck, lors de la découverte de la thermo-électricité, avait reconnu que le nickel, métal éminemment négatif, communique cette propriété aux alliages qu'il forme avec le cuivre ou le zinc, de telle sorte que le maillechort, l'argentan ou le pakfong sont presque aussi négatifs que le nickel. Ce fut sur l'un de ces alliages que M. Ed. Becquerel jeta les yeux pour en faire l'élément négatif de la pile dont le sulfure de cuivre devait être l'élément électropositif. La *fig.* 18

représente ce couple, chauffé par un bec de gaz, et en cours d'opérer un dépôt galvanoplastique de cuivre. En trois

Fig. 18.




jours on a pu cuivrer en épaisseur, assez grande pour extraire le dépôt, un moule de médaille en gutta-percha. Comme on le voit, le sulfure de cuivre est soudé au maillechort, lequel offre une plate-forme à l'action de la flamme. Une pile de 30 couples décompose l'eau, rougit un petit fil de platine, anime un électro-aimant à fil gros. Si l'on portait un tel couple à 1030 degrés, température voisine de la fusion du sulfure de cuivre, il équivaudrait à un couple à sulfate de cuivre; mais il faut se borner à le chauffer vers 550 ou 600 degrés, alors il vaut $\frac{1}{4}$ du couple en question.

Dans le cours de la même année, M. Marcus étudiait les capacités thermo-électriques des alliages métalliques,

et il donnait les instructions suivantes pour la construction d'un couple thermo-électrique métallique :

| Élément positif. | | Élément négatif. | |
|---|---|---|---|
| Cuivre ....... | 10 | Antimoine .... | 12 |
| Zinc ......... | 6 | Zinc ......... | 5 |
| Nickel ....... | 6 | Bismuth ...... | 1 |

On chauffe l'élément positif vers 520 degrés, température limite ; il faut 15 couples pour équivaloir à 1 couple à sulfate de cuivre.

*Couple au sulfure de plomb.* — Cette année, on a parlé d'une nouvelle pile à *sulfure de plomb* et *fer*, due à MM. Mure et Clamont, et dont M. Gaiffe est l'entrepositaire à Paris. La force électromotrice du sulfure de plomb tel que les auteurs le préparent est un peu plus élevée que celle du sulfure de cuivre (8,35 au lieu de 6,80, par rapport au couple à sulfate de cuivre pris comme 1000).

Le sulfure de plomb se grille moins rapidement peut-être que le sulfure de cuivre. La forme de cette pile est favorable à la meilleure utilisation de la chaleur. Les éléments sont assemblés circulairement de manière à former un cylindre creux, les soudures chauffées au gaz sont ramenées à l'intérieur : 60 de ces couples équivalent à 1 couple à acide nitrique.

En résumé, on voit que la découverte d'une pile thermo-électrique puissante n'est pas une utopie ; mais qu'il faut triompher de grandes difficultés pour transformer la chaleur en électricité. Il faut étudier les corps composés peu connus au point de vue physique afin de découvrir ceux qui réunissent ces qualités : une grande

force électromotrice, une faible résistance et un point de fusion très-élevé. Il faut aussi, et surtout, s'opposer le plus possible à la déperdition de la chaleur par le fait du rayonnement de la pile. Toutes ces conditions remplies, on aura l'espoir de résoudre ce grand problème la *transformation économique de la chaleur en électricité*, qui se rattache lui-même à la question palpitante de notre époque scientifique, l'*équivalence des forces physiques*.

### V. — Les courants secondaires.

*Pile de M. G. Planté.* — Une découverte aussi curieuse qu'importante est celle du *condensateur dynamique* due à M. Gaston Planté.

Chacun connait la bouteille de Leyde et sait comment cet appareil décharge en une puissante étincelle la somme d'électricité qu'il absorbe à la machine électrique. M. G. Planté a créé, pour la pile voltaïque, un appareil de même ordre qui, chargé par 2 ou 3 couples voltaïques, rend, en une décharge, un effet dynamique qui exigerait l'emploi de 50 à 60 couples Bunsen. En peu de mots, voici le secret de l'auteur. Dans un vase muni de rainures latérales (*fig.* 19), on dispose verticalement une série de lames de plomb parallèles, très-rapprochées et rigoureusement isolées (*fig.* 20); les lames de rang pair sont réunies pour être mises en communication avec un des pôles de la pile qui fournit le courant, il en est fait de même pour les lames de rang impair. Le vase étant garni d'eau acidulée par l'acide sulfurique, on fait passer le

courant de la pile. L'eau est décomposée : il se *dépose* de l'hydrogène sur les lames négatives et l'oxygène

Fig. 19.

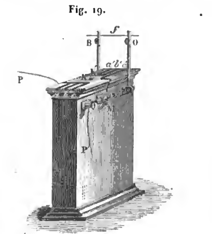



Fig. 20.




*oxyde* les lames positives. Admettons qu'il y ait quarante lames de chaque ordre; si, par un mécanisme, on les coordonne de manière à les accoupler à la suite les unes des autres, on obtient un effet électrique (en sens inverse du courant initial), et qui est équivalent à celui de quarante couples montés en tension. Quelle est la cause de ce courant, que l'on nomme *secondaire?* c'est la recombinaison qui s'effectue entre l'hydrogène et l'oxyde de plomb, action chimique très-énergique et, par conséquent, très-intense comme source d'électricité. Cet effet est momentané, mais on peut le reproduire presque indéfiniment avec le même appareil. Avec 2 couples de Bunsen et une batterie secondaire qui n'a pas plus de 20 centimètres $\times$ 22 centimètres, en dimensions, on brûle une aiguille d'acier de 12 centimètres de lon-

gueur et de 1 millimètre de diamètre, on fond un fil de platine de 10 centimètres : effets qui correspondent à des températures de 1400 à 2000 degrés. Les médecins cherchent à cautériser par l'électricité; ils tentent même, avec son intervention calorifique, des opérations qui seraient trop dangereuses, presque impossibles à réaliser avec le fer rouge. Ces appareils répondent parfaitement au but qu'ils se proposent : manœuvre aisée, appareil peu volumineux et portatif, effets calorifiques de la plus haute intensité. La pile secondaire de M. G. Planté n'est donc pas seulement l'expression la plus grandiose d'un phénomène électrique, elle est appelée à rendre de grands services à la physique médicale.

# CHAPITRE II.

## LES APPAREILS.

### I. — Sonneries électriques.

La sonnerie électrique est la conséquence immédiate du télégraphe électrique : en effet, avant de correspondre entre deux postes, ne faut-il pas commencer par s'avertir mutuellement?

Presque immédiatement on a considéré l'intérêt que présenterait ce mode d'avertissement pour les grandes administrations; et, grâce aux rapides progrès de l'électricité télégraphique, une telle installation devint chose très-simple. Actuellement, la manœuvre des générateurs d'électricité est si bien réglée, les sonneries de divers modèles s'établissent à si peu de frais, que ce système d'avertisseurs est devenu rapidement d'un usage général pour le service des théâtres, des hôtels, des bureaux, des magasins, des appartements privés, de quelque importance. La sonnerie électrique est susceptible de deux fonctions bien distinctes : 1° *être simple avertisseur;* 2° *être un organe télégraphique.* Quoi de plus aisé, en effet, que de combiner, selon la nature du service, un mode de correspondance fondé sur un régime acoustique conventionnel selon le nombre de coups d'un marteau sur un timbre et selon la prolongation ou l'in-

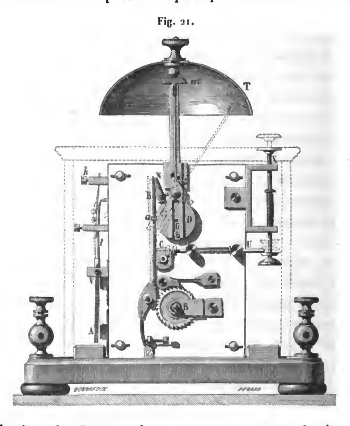
stantanéité du jeu du marteau? De là, deux systèmes de sonneries électriques bien tranchés : L'*avertisseur*, proprement dit, dont le rôle est de fournir, pour *une seule émission du courant*, un bruit intense et prolongé; la *sonnerie à percussion*, qui permet d'obtenir un jeu de coups uniques et de roulements selon la durée que l'on donne à l'émission de courant.

La *sonnerie avertisseur*, ou *sonnerie à déclanchement*, est un appareil trop compliqué, par suite trop coûteux, pour qu'on l'applique aux usages domestiques, si ce n'est dans des cas spéciaux où il est absolument nécessaire de produire un bruit à la fois très-intense et prolongé. Elle reste encore usitée dans les postes télégraphiques, notamment sur les lignes de chemins de fer; car le chef de station, faisant office de télégraphiste, peut se trouver à une distance assez grande du poste, et il faut alors développer un appel énergique.

*Sonnerie à déclanchement.* — Cette sonnerie (*fig.* 21) est constituée, en principe, par un mécanisme d'horlogerie d'assez grande puissance, qui commande le mouvement oscillatoire alternatif d'un marteau frappant sur les parois opposées d'un timbre. Le courant électrique, s'il vient d'une pile, est fermé en poussant un bouton dont l'effet est de déterminer la jonction de deux lames, que sépare ensuite un ressort antagoniste. L'électricité arrive dans les fils de l'électro-aimant; sa fonction est des plus simples (ainsi, du reste, que dans tous les appareils télégraphiques); à ce moment, l'armature A est attirée. Or cette armature constitue un des bras d'un le-

vier dont l'extrémité de l'autre maintient en arrêt, dans la condition de repos, le cliquet qui déclanche le rouage

Fig. 21.

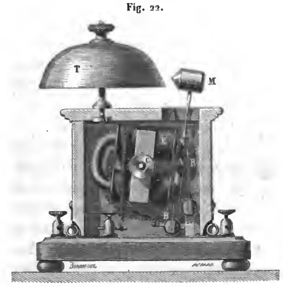



d'horlogerie. Lorsque le rouage est en arrêt, la tige du marteau est verticale; mais, lorsqu'il fonctionne, l'effet du dernier mobile est d'animer cette tige d'un mouvement oscillatoire alternatif: d'où la percussion répétée sur les deux faces opposées du timbre. Une émission de courants produira donc cet effet en rendant libre le cliquet d'arrêt; mais, au bout d'une révolution complète, une roue

du deuxième mobile du rouage réagit sur le bras horizontal du déclanchement par l'intermédiaire d'une petite tige dont celui-ci est muni, et le replace sur l'extrémité du bras de levier qu'il avait quitté. La même action se produira pour chaque émission de courant.

*Sonnerie dite trembleur.* — Le second système de sonneries se résume par l'appareil dit *trembleur* (1) et dont l'avantage essentiel est l'extrême simplicité. En face des pôles d'un électro-aimant E, est une armature fixée, par sa partie inférieure qui fait lame vibrante, en un point B, où arrive l'un des électrodes de la source électrique; l'armature A repose (*fig.* 22), à l'état ordinaire, sur une

Fig. 22.




lame élastique R, à laquelle aboutit l'autre électrode. Cette armature est munie, à sa partie supérieure, du mar-

(1) Dû en principe à M. Lippens, de Bruxelles.

teau destiné à frapper sur le timbre qui domine la boîte, réceptacle de tout le système. Qu'arrivera-t-il si le circuit est fermé d'une façon constante? Le courant passe, l'armature est attirée, le marteau frappe sur le timbre; mais, l'armature ayant quitté la lame R, le courant est interrompu; l'électro-aimant ne maintient donc pas A en attraction, l'armature retombe sur l'appui R; le courant est rétabli, l'électro-aimant rappelle son armature : d'où nouveau coup de marteau sur le timbre, et ainsi de suite. Ces alternatives s'effectuant dans un temps très-court, la succession de coups sur le timbre fait l'effet d'un *roulement.*

Si l'on touche seulement le bouton d'appel un temps très-court, on peut, avec quelque habitude, arriver à ne produire qu'un seul coup pour cette émission rapide de courant : d'où la possibilité d'établir un langage télégraphique conventionnel, par coups et par roulements, très-propice à fournir les indications d'un service dans un théâtre, une administration, un hôtel, etc.

*Sonnerie Devos.* — Le mode de sonnerie électrique le plus généralement usité est donc actuellement le *trembleur.* Le passage du courant étant maintenu au bouton d'appel, la lame battante du récepteur est alternativement attirée par l'électro-aimant, puis rappelée par un ressort antagoniste; et c'est ainsi que le marteau qui la surmonte frappe sur le timbre. La durée de la fonction de la sonnerie est, dans ce cas, absolument dépendante du temps que dure le contact qui est effectué sur le bouton. Autrement dit, le visiteur, quand il s'agit d'une sonnerie d'appartement, ne doit pas cesser d'appuyer sur le bouton tant qu'il

ne pense pas s'être fait entendre. De là un double inconvénient : celui de sonner trop légèrement ou d'agir trop énergiquement. Il serait préférable de n'avoir qu'à pousser le bouton *une seule fois* et de laisser à l'appareil acoustique le devoir de fonctionner le temps convenable pour assurer l'avertissement dans le local. Les sonneries à déclanchement remplissent, il est vrai, cette fonction; mais leur installation est trop coûteuse pour l'usage domestique. M. Devos a tourné la difficulté en combinant une sonnerie à répercussion, ou persistante, n'exigeant pas

Fig. 23.

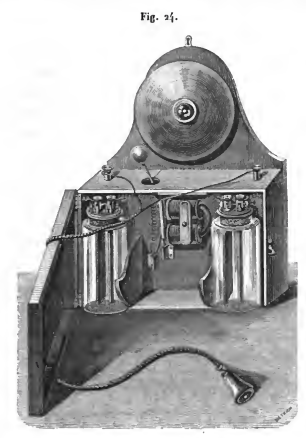
de système de rouages multiples. La *fig.* 23 représente,

en principe, cette sonnerie électrique. Le courant de la pile est amené par les bornes C et Z dans l'électro-aimant d'une part, et de l'autre à une lame L qui appuie d'une manière constante sur le pignon d'une roue dentée. La lame battante, qui constitue l'armature mobile de l'électro-aimant, porte un bras de levier P qui se termine en cliquet, lequel agrippe d'une dent la roue R à chaque mouvement oscillatoire que lui fait subir la fonction de l'électricité. Qu'arrive-t-il, maintenant, dès qu'on agit *une seule fois* sur le bouton d'appel? Le courant est émis dans l'électro-aimant, dans la lame L et dans la roue R pour revenir à la pile par le contact T. Alors, le circuit étant fermé, l'électro-aimant fonctionne, attire l'armature : d'où un coup de marteau sur le timbre. L'armature ayant quitté le contact en T, le courant ne passe plus, l'armature retombe en vertu de son propre poids, le circuit est de nouveau fermé, et le même jeu se reproduit tant que la lame L touche une partie conductrice de la roue R. Or, tandis qu'elle effectue son mouvement oscillatoire, la lame mobile commande, par le cliquet P, la rotation de la roue R, et celle-ci offrira, soit au bout d'une demi-révolution, soit d'une révolution entière, selon la durée de sonnerie que l'on désire avoir, un isoloir au contact de la lame L. Le courant ne passera plus; il faudra agir de nouveau sur le bouton d'appel, pour que la même fonction se manifeste à nouveau.

*Sonnerie Grenet.* — M. Grenet, qui s'occupe très-intelligemment de cette application de l'électricité, a réussi à doter les sonneries électriques des dispositions

les plus favorables à la pratique. Le système adopté par ce constructeur est celui du *trembleur*. On voit (*fig.* 24)

Fig. 24.



que, de chaque côté de la sonnerie, une place est réservée à un couple à bisulfate de mercure, de dimensions ($0^m,10 \times 0^m,05$), dont la description a été donnée p. 28. Chacun de ces couples dure un an, et consomme pour ce laps de temps de 60 à 70 grammes de sel mercuriel au

prix de $0^{fr},50$ à $0^{fr},75$. La sonnerie, petit modèle, n'exige l'emploi que d'un seul couple.

La nature du timbre n'est pas indifférente. Selon les conditions de service de la sonnerie, le bruit doit être plus fort, plus intense ou plus doux; on peut ne désirer qu'un avertissement très-sourd; on peut vouloir, enfin, différencier les appels dans les différentes pièces, par les timbres distincts des sons produits. C'est ainsi qu'en armant les sonneries de timbres de métaux pleins, ou troués, ou fendus, de timbres en bois sonores de nature différente, il est possible d'obtenir des sons qui correspondent aux notes *approchées* de la gamme. Les contacts doivent être appropiés, par leurs formes, au lieu de la pose. A la porte d'une maison, on placera un bouton à repoussoir; le bouton d'une porte peut déterminer le déclanchement d'une sonnerie. Cette disposition est très-propice pour les bureaux très-fréquentés, où il est toujours utile d'être averti de l'entrée d'une personne, alors que les employés sont absorbés par les affaires. Pour un cabinet, on emploiera avantageusement un cordon formé par des fils conducteurs tressés et garnis de soie; à la place du gland, ou recouverte par lui, est une sorte de poire terminée par un bouton qu'il suffit de presser pour établir le passage du courant. Dans une salle à manger, on disposera, à la place du maître de maison, à fleur du plancher, une petite pédale qu'il suffira de presser du pied, pour déterminer le jeu de la sonnerie. Ces exemples suffisent pour indiquer de combien de façons on peut modifier, selon le goût des personnes et d'après la

condition du service de l'appareil avertisseur, la disposition de l'organe de.contact.

Les sonneries électriques, comme on l'a déjà dit, ont des applications très-nombreuses. En considérant l'importance des appartements actuels, on comprendra aisément qu'elles cessent d'être un objet de luxe, mais que leur emploi est plus économique que celui des sonnettes mécaniques dont la pose devient à la fois chère et compliquée. Ce prix devient encore plus grand, s'il faut ramifier les circuits. Avec une sonnerie électrique dont le prix de revient est actuellement très-minime, on peut, sans grand accroissement de dépense, doter chaque pièce d'un bouton d'appel. Et, en mettant un tableau de service au-dessous de la sonnerie, on saura toujours dans quelle pièce l'appel a été donné. Les tuyaux acoustiques sont très-usités dans les administrations. Il arrive parfois que l'appel au sifflet n'est pas suffisant, il peut aussi être mal donné. Quoi de plus simple que de compléter ce service par l'adjonction d'une sonnerie électrique qui indiquerait le moment initial de la correspondance?

Lorsqu'on sonne, il est surtout utile de savoir si l'on a été entendu. Il existe divers procédés de contrôle. L'un consiste à disposer le circuit de telle façon qu'une fois déclanchée, la sonnerie ne cesse sa fonction qu'à la condition que la personne appelée vienne pousser un bouton d'arrêt. On est averti, dans ce cas, que l'appel est entendu par la cessation du jeu de la sonnerie. Mais, dans un grand hôtel, une administration, etc., ce seul

5.

moyen ne suffirait pas, car on peut ne pas entendre le bruit de la sonnerie. Alors, dans chaque pièce, près du bouton d'appel, se trouve une aiguille mobile sur un cercle vertical : le courant d'émission l'incline, et elle ne revient à la position verticale que si le courant qui anime la sonnerie a cessé de passer. En voyant l'aiguille *se relever*, on sait donc que l'on vient de répondre à l'appel.

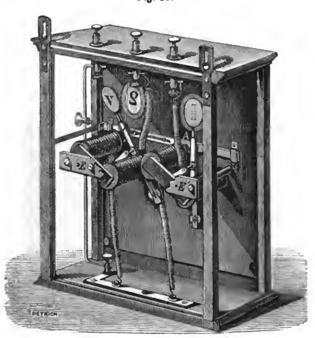
### II. — Tableaux de service.

Le service des *tableaux d'appel*, ou *tableaux d'avis*, est collatéral de celui des sonneries. Il en est le complément indispensable dès l'instant qu'il importe d'établir en un lieu d'une administration, d'un hôtel, etc., un service d'appel commun à plusieurs employés. Il serait possible, il est vrai, de différencier les appels d'après le nombre des coups de sonnerie, mais il y aurait là une source d'erreurs multipliées; en outre, en cas d'absence de la personne demandée, comment saurait-elle, au retour, qu'il lui a été adressé un appel? En principe, chaque organe d'un tableau de service se compose d'un électro-aimant intercalé dans le circuit de la sonnerie. Dès l'émission du courant qui parcourt toute la ligne, l'armature de l'électro-aimant est attirée, et son contact avec le noyau de fer doux ferme le circuit d'une pile locale exclusivement préposée à faire fonctionner la sonnerie du poste. En même temps, cette armature dans son mouvement agit sur un organe mécanique qui ouvre un disque de façon à faire apparaître, sur le tableau, un numéro qui correspond au rang du bouton

d'appel qui a été mis en fonction. On conçoit qu'un même tableau peut renfermer plusieurs de ces organes, 2, 4, 6, 10, 20, mis en relation avec autant de boutons d'appel; ces divers organes aboutissent à une même sonnerie qui domine le tableau, et chacun peut clore isolément le circuit qui conduit à la pile locale.

*Tableau d'appel, système Digney.* — Le principe général peut du reste être modifié, selon les usages. Nous représentons (*fig.* 25) un sytème de tableau imaginé

Fig. 25.



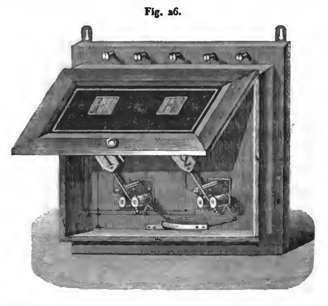
par MM. Digney. Chaque électro-aimant commande une armature aimantée, mobile autour de son centre. On

voit d'après la disposition oblique des pôles de l'électro-aimant que si un courant passe, l'armature mobile décrit un arc de cercle, et si elle porte un disque rouge à la partie supérieure, ce disque démasquera l'ouverture à travers laquelle le *numéro* apparaît.

Si le courant cesse, elle reste fixée aux pôles de l'électro-aimant en raison de son pouvoir magnétique, à moins qu'un courant inverse ne la chasse en inversant les pôles.

*Tableau d'appel, système Grenet.* — M. Grenet invoque, pour la fonction des tableaux de service, un jeu électrique assez original, et surtout très-propice. La *fig.* 26 indique le dispositif d'un numéro : entre les deux branches

Fig. 26.



d'un électro-aimant se trouve une aiguille aimantée mo-

bile dans le plan vertical autour de son point de suspension. Quand le courant arrive dans la sonnerie, il passe d'abord par l'une des bobines, la branche active de l'électro-aimant repousse l'aiguille pour l'incliner, on voit que le numéro porté par l'aiguille s'efface pour faire place au blanc. Quand on pousse le bouton de réponse, placé au-dessous du tableau, le courant passe par l'autre branche de l'électro-aimant et regagne la pile sans aller à la sonnerie; la branche de l'électro-aimant repousse l'aiguille qui reprend la position verticale, le numéro reparaît.

M. Grenet a disposé ce qu'il appelle un *tableau de concierge*, dont l'utilité est bien grande pour se débarrasser des visites importunes. Le dispositif électrique est le même : le tableau ne porte que deux avis; les lettres S et R qui signifient *sorti* et *rentré*. Veut-on recevoir, de son cabinet on pousse le bouton R ; le concierge sait qu'il peut laisser entrer; mais a-t-on vu que la personne est un importun, de suite on pousse le bouton S, et le concierge congédie le visiteur.

Quant à la combinaison des indications qu'un tableau de service est susceptible de fournir, elle est absolument arbitraire et elle dépend exclusivement de la nature du service : *numéros* pour les chambres d'hôtel, les établissements de bains; *noms propres* pour les appartements privés, avec addition de *salon*, *salle à manger*, *billard*, etc., pour les hôtels; *dénominations*, telles que *contrôle*, *scène*, *foyer*, *cabinet du directeur*, etc., pour les théâtres.

*Tableau d'appel*, *système Breguet*. — Dans le type

de tableau de service construit par M. Breguet, l'électro-aimant, dont les branches sont disposées verticalement, agit sur une armature cylindrique qui tourne excentriquement autour de son axe vertical. Le *numéro* est fixé à une tige attenant perpendiculairement à l'armature et qui décrit une demi-circonférence en s'approchant ou s'éloignant du tableau, selon que l'armature tournante est attirée ou non par les pôles de l'électro-aimant. La fonction de l'électricité comporte une pile de ligne et une pile locale. Le courant de ligne détermine le mouvement d'appel de l'armature, celle-ci arrive à un contact qui ferme le circuit d'une pile locale, lequel fixe l'armature en attraction. Un bouton attenant au tableau permet de rompre le circuit local; alors, un ressort antagoniste ramène le numéro en arrière, hors de vision. En outre, la pile locale fait partir la sonnerie d'appel, celle-ci ne s'arrêtera donc que si la personne appelée vient *rentrer* le numéro sorti.

La fonction des sonneries et celle des tableaux de service n'exigent pas tant un générateur d'électricité à courant constant qu'un générateur à longue durée dont l'entretien soit des plus restreints. Il faut, en outre, que la force électromotrice de ce générateur soit assez grande, afin de limiter autant que possible le nombre de ses éléments si l'on adopte la pile, et la dimension de l'appareil si l'on a recours à un générateur magnéto-électrique. Parlons d'abord de ce dernier. Son emploi se trouve très-limité quant au service des sonneries; il est nécessaire, en effet, que le courant soit émis d'une

façon continue, car l'opérateur ne doit faire que fermer le circuit au moment où il veut mettre la sonnerie en mouvement. Cependant, s'il s'agit d'employer directement une sonnerie pour produire, d'un poste à un autre, des signaux par voie acoustique, la clef magnéto-électrique oscillante (*voir* p. 40) serait très-apte à ce service. Pour chaque émission de courant, on aura un déclanchement d'une sonnerie avertisseur à rouage d'horlogerie, ou un battement sur le timbre pour une sonnerie trembleur. Ainsi qu'il a été dit, au sujet de ce générateur, la force électrique reste à peu près constante, car les aimants regagnent, lors de la fonction, ce qu'ils perdent au repos. Le coût de l'électricité consiste donc dans le prix de revient du générateur. Mais le véritable emploi de ces appareils est surtout pour la manœuvre des télégraphes.

Puisqu'il faut, avant tout, une pile de longue durée, et d'un entretien restreint, on pourra adopter ces nouveaux modèles à élément dépolarisateur solide et sans vase poreux.

La pile à bisulfate de mercure de M. Grenet se recommande par sa force électromotrice, qui est 60 par rapport à celle de Bunsen représentée par 100 et qui peut être employée sous un très-petit volume, sans vase poreux. On a vu que, chargée avec 60 à 70 grammes de sel mercuriel, elle fournit une carrière de près d'une année, sans exiger aucun entretien, l'évaporation de l'eau étant très-faible. Le couple à sel ammoniac et à charbon de M. Devos est aussi très-favorable, en raison

de sa faible dépense et de sa longue durée; ses dimensions sont plus grandes, il donne alors une plus grande quantité d'électricité, sa force électromotrice est 58. Le couple à sulfate de cuivre est certainement plus constant, mais son rôle est tracé plus spécialement pour le service de l'horlogerie électrique.

### III. — Télégraphes d'administration.

Les grandes administrations, usines, et notamment les chemins de fer, invoquent l'aide de la télégraphie électrique. Mais la télégraphie administrative, dont le type est la télégraphie des chemins de fer, s'écarte absolument de celle de l'État par la nature des appareils. Les besoins, en effet, ne sont pas les mêmes de part et d'autre. L'État expédie des dépêches officielles ou privées, qui doivent laisser des traces pour le contrôle du service; la manœuvre des appareils qui résolvent la question exige une étude spéciale de la part des employés; l'étendue du service et son caractère public nécessitent une administration spéciale. L'administration de chemins de fer a exclusivement besoin d'émettre des ordres sur la ligne, aux différentes stations, pour être transmis à qui de droit; les chefs de service, les chefs de stations peuvent avoir à correspondre ensemble; et il faut que chaque employé d'une gare ou d'une station soit capable de remplir la fonction de télégraphiste, vu qu'il est impossible d'instituer un emploi spécial à chaque station. Il faut, de plus, pour la sécurité du service, que la dépêche soit *lue* et *comprise* instantanément dès son arrivée

au poste de réception. C'est ce qui n'aurait pas lieu si l'on employait les appareils système Morse adoptés par l'État; et il est actuellement hors de pratique de penser aux appareils imprimeurs, soit typographiquement, soit autographiquement, leur prix de revient étant trop élevé et leur manœuvre exigeant une trop grande connaissance de la pratique télégraphique.

L'appareil le plus simple, par suite le plus pratique, est celui dit *à cadran*, dont la fonction consiste à amener une aiguille indicatrice, qui est mobile sur un cadran circulaire, sur la circonférence duquel sont inscrites les vingt-quatre lettres de l'alphabet, vis-à-vis la lettre qu'il s'agit de télégraphier. On formera ainsi les mots et les phrases. On construit des appareils qui *marchent* avec une vitesse très-considérable, tout en conservant la plus grande sécurité de fonction.

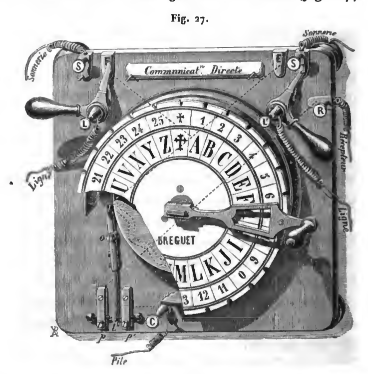
*Télégraphe à cadran*, dit *des chemins de fer*. — Le télégraphe à cadran le plus anciennement employé par les administrations de chemins de fer est celui construit et perfectionné par M. Breguet, d'après le principe de M. Wheatstone, qui, le premier, en 1840, indiqua comment le mouvement alternatif de l'armature d'un électro-aimant pouvait être utilisé directement pour mettre en mouvement une roue à rochet, au centre de laquelle se trouve une aiguille.

Tout appareil télégraphique se compose de deux parties : le *manipulateur*, qui sert à composer la dépêche et à l'émettre; le *récepteur*, qui inscrit la dépêche à son arrivée. Dans le système qui nous intéresse, l'un et l'autre

consistent en deux cadrans munis des lettres de l'alphabet et d'aiguilles qui doivent, au même moment, se trouver vis-à-vis la même lettre.

Le manipulateur se compose d'un disque de laiton qui est divisé en vingt-six parties ou secteurs, sur lesquels sont gravés les vingt-cinq lettres de l'alphabet, les neuf chiffres significatifs, le zéro, la série des nombres de 11 à 25 et une croix ou signe conventionnel (*fig.* 27). A

Fig. 27.



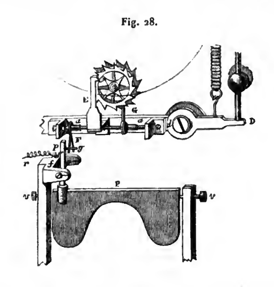

chaque secteur correspond une échancrure creusée sur le pourtour du disque. Au centre du disque, une manivelle est articulée avec l'axe d'une roue indépendante placée

sous le cadran. La face inférieure de cette roue est creusée d'une gorge sinueuse dont les sinuosités régulières sont en même nombre que les secteurs du cadran. Le levier métallique $l$ est mobile autour de la colonne métallique qui supporte le cadran; son extrémité postérieure est armée latéralement d'une dent métallique engagée dans la gorge sinueuse de la roue; son extrémité antérieure se termine par un petit ressort placé entre deux vis métalliques $p$ et $p'$, engagées elles-mêmes dans deux pièces de cuivre implantées dans la planche qui forme le support de l'appareil. La manivelle, en tournant, imprime un mouvement de rotation à la roue à gorge sinueuse; le levier $l'$ exécute alors un mouvement de va-et-vient, et le ressort de son extrémité antérieure va toucher alternativement les vis $p, p'$. Pour un tour complet de la manivelle, l'extrémité du levier touche treize fois la vis $p$ et treize fois la vis $p'$; d'ailleurs l'appareil est réglé de manière que le ressort du levier appuie contre la vis $p$ quand la manivelle est sur la *croix* ou sur un nombre *pair*, et contre la vis $p'$ quand la manivelle est sur un nombre *impair*.

Le récepteur se compose d'un cadran dont les divisions sont disposées comme celles du manipulateur et d'un mouvement d'horlogerie placé derrière le cadran. L'échappement du mouvement d'horlogerie et l'aiguille du cadran sont fixés sur le même axe; leur marche est réglée par une série de rouages mis en jeu par un électro-aimant. L'échappement se compose de deux roues dentelées parallèles fixées à l'axe d'un pignon : chacune de

ces roues est armée de *treize* dents équidistantes; les dents de l'une alternent avec celles de l'autre. Sur chaque roue, deux dents successives sont donc séparées par $\frac{1}{13}$ de circonférence; mais, en raison de la disposition alterne des dents des deux roues, l'intervalle angulaire de deux dents successives de l'échappement n'est que de $\frac{1}{26}$ de circonférence. Au-dessous de l'échappement est un contact métallique G fixé à un cylindre horizontal *aa* mobile autour de son axe (*fig.* 28). L'extrémité gauche de

Fig. 28.




ce cylindre porte une fourchette F, dans laquelle s'engage une goupille horizontale *g* fixée à la queue verticale de la palette de fer doux P. Cette palette peut tourner autour d'un axe horizontal passant par les pointes de deux vis. Un ressort antagoniste fixé en P règle le jeu de la palette P. L'électro-aimant présente ses faces po-

laires à celles de cette palette, et il peut être approché ou éloigné à l'aide d'une vis. D'après cette description, on concevra aisément le jeu du récepteur à cadran. Le courant passe, la palette P est attirée, sa queue P est tirée en arrière jusqu'à toucher le butoir d'arrêt; la goupille *g* entraîne la fourchette F, fait tourner le cylindre *aa*, et le contact G déclanche l'échappement; le mouvement d'horlogerie marche jusqu'à ce que la dent suivante de la roue antérieure de l'échappement heurte le contact G. L'échappement tourne donc de $\frac{1}{26}$ de circonférence; par suite, l'aiguille qu'il commande avance d'une lettre sur le cadran. Le courant cesse, la palette reprend sa position sous l'influence du ressort antagoniste; la goupille, la fourchette sont entraînées en avant; la roue *aa* tourne, et le contact G est poussé en arrière. L'échappement est de nouveau dégagé, jusqu'à ce que la dent suivante de la roue postérieure heurte à nouveau le contact G; l'aiguille a donc encore avancé de $\frac{1}{26}$ de circonférence, c'est-à-dire de l'espace d'une lettre.

On comprend, d'après cela, que si, au début, la manette du manipulateur et l'aiguille du récepteur sont à la *croix*, pour chaque $\frac{1}{26}$ de circonférence décrit au manipulateur par la manette, il y a : ou passage du courant dans l'électro-aimant, par suite attraction de la palette; ou déviation à la terre, par suite cessation d'attraction de la palette par l'électro-aimant. Or, dans chaque cas, l'aiguille parcourt, comme la manette, $\frac{1}{26}$ de circonférence sur son cadran. Ce télégraphe a divers inconvénients qui sont susceptibles d'altérer son service. Le plus

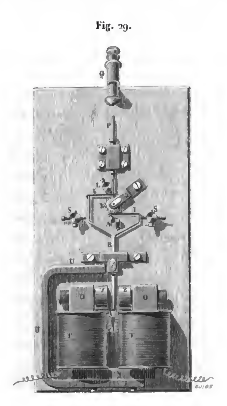
grave a rapport au jeu oscillatoire du contact G. Si l'amplitude d'oscillation de cet organe est trop grande, il sort complétement du plan de la roue qu'il doit arrêter, et le mouvement d'horlogerie est déclanché jusqu'à épuisement du ressort du barillet, l'aiguille est folle sur le cadran. Si, au contraire, les oscillations du contact G n'ont pas assez d'amplitude, il n'échappe pas les dents de la roue, et l'aiguille reste immobile. Il faut donc *régler* la fonction de cet organe essentiel, c'est-à-dire *compenser* par l'action d'un ressort antagoniste la puissance attractive de l'électro-aimant. Or, il arrive trop souvent que le courant de la pile cesse d'être constant, le plus souvent il perd en intensité; mais il peut aussi devenir trop fort. Il faut donc que l'employé sache compenser ce défaut, et cette opération, toujours délicate, entraîne souvent une perte de temps notable.

Il y avait donc un progrès important à réaliser en combinant un télégraphe à cadran qui n'exige pas le *réglage*, c'est-à-dire qui soit indépendant des variations d'intensité de la source électrique.

*Télégraphe à cadran de MM. Digney.* — Cette question a été résolue par MM. Digney en tirant parti fort habilement du principe de l'électro-aimant polarisé de M. Siemens. L'électro-aimant TT repose par deux des faces de ses fers doux sur une des branches d'un aimant recourbé en fer à cheval (*fig.* 29); sur les pôles supérieurs de l'électro-aimant sont montées deux vis en fer que l'on peut avancer ou reculer, afin de régler l'action polaire de l'électro-aimant par rapport à une lame de fer

doux GE disposée verticalement, de façon à pouvoir osciller autour du point G. Cette *armature mobile* subit l'influence du second pôle de l'aimant U. Dans l'état

Fig. 29.



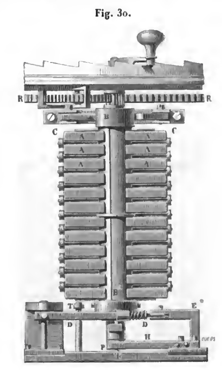
ordinaire, la lame GE étant polarisée inversement aux deux poles de l'électro-aimant, on peut amener ceux-ci à des distances telles, que cette lame soit en équilibre. Mais, le courant arrive à l'électro-aimant, nous le supposerons *positif;* comme le fil est entouré en sens inverse sur les deux bobines de l'électro-aimant, il augmentera

la force positive d'un des pôles et diminuera celle de l'autre, la lame mobile GE étant toujours négative cédera à l'action du pôle *le plus positif* et s'inclinera vers lui : si le courant cesse, l'équilibre renait, puisque les fers doux sont en contact avec l'aimant permanent. Et si le courant devient *négatif*, l'effet inverse se produit, la lame s'incline vers le pôle opposé. En émettant, dans cet électro-aimant, des courants alternativement *positif* et *négatif*, on déterminera donc le mouvement oscillatoire de l'armature aimantée mobile. Ce principe a été fécond en applications. La *fig*. 29 indique comment M. Siemens l'a utilisé directement pour produire le mouvement circulaire d'une aiguille sur un cadran. L'armature mobile est surmontée d'une fourchette d'échappement, qui est munie à chaque branche d'un cliquet à ressort qui commande le mouvement d'une roue à rochet, au centre de laquelle est fixée l'aiguille indicatrice. Cette aiguille se meut sur un cadran, identique en tous points à celui du télégraphe indicateur décrit plus haut.

Le *manipulateur* de ce télégraphe indicateur, aussi simple qu'ingénieux, est en même temps le *générateur d'électricité;* c'est l'hélice magnétique de M. Siemens que nous avons représentée *fig*. 30. On voit que le mouvement de rotation est communiqué à l'hélice par une manette M semblable à celle du manipulateur à cadran. Le cercle qu'elle décrit est muni des lettres de l'alphabet, des signes usuels, etc., et, pour passer d'une lettre à l'autre, il faut que l'hélice ait décrit une demi-circonférence; par suite, le courant induit qui parvient au récep-

teur a changé de sens. La *fig.* 31 représente l'appareil complet pour un poste; les timbres qui sont placés de part et d'autre de la roue du cadran sont destinés à pro-

Fig. 30.

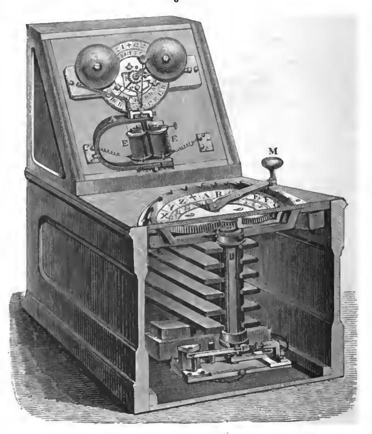



duire l'appel au moment de la première émission du courant.

Quoique pour la manœuvre des appareils qui invoquent le principe de l'armature aimantée, et, par suite, l'électro-aimant polarisé de Siemens, le générateur d'électricité induite soit éminemment favorable, on peut à volonté employer le générateur d'électricité dynamique, c'est-à-dire la pile. Il suffit de recourir au ***manipulateur***

*à renversement de courants* tel que MM. Digney l'ont combiné. Cet organe émet, pour chaque passage de lettre,

Fig. 31.

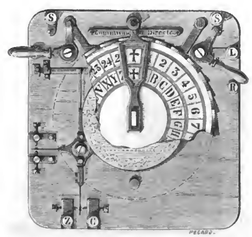



un courant qui marche en sens contraire du précédent. On conçoit, d'après la constitution des organes magnétiques du récepteur, qu'à la condition de ne pas recourir à une pile d'une intensité trop grande, on obtiendra le

mouvement oscillatoire de l'armature mobile qui commande celui circulaire de l'aiguille sur le cadran.

Le *manipulateur inverseur* représenté (*fig.* 32) diffère


Fig. 32.

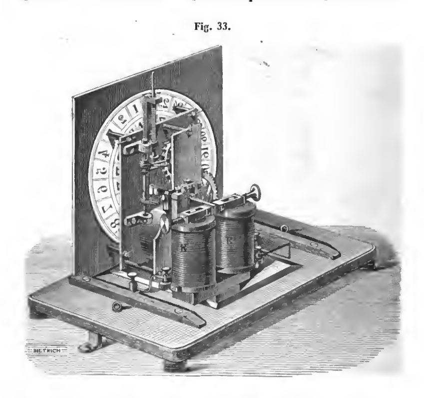



du modèle usuel en ce que le levier coudé est armé de deux systèmes de contacts inverseurs. Une lame touche alternativement les deux pôles C et Z de la pile, tandis que la seconde, qui lui est perpendiculaire, heurte également deux contacts de ligne; cette disposition a pour effet de prendre le courant de la pile tantôt de *positif* à *négatif*, à travers l'électro-aimant du récepteur, tantôt de *négatif* à *positif*. C'est ce qu'on exprime en disant qu'on émet dans le circuit un courant positif ou un courant négatif.

Le récepteur sans réglage de MM. Digney est représenté *fig.* 33; la lame battante qui oscille entre les deux pôles mobiles L et L' de l'électro-aimant EE commande à son autre extrémité, par une tige *t*, le mouvement alternatif

d'une fourchette. Celle-ci le transmet à un arbre vertical, dont l'effet est d'embrayer et de désembrayer la roue R à l'aide du cliquet *l*, d'où dépend le mouvement de l'aiguille sur le cadran. Chaque fois que le manipulateur in-

Fig. 33.




dique une lettre, le courant passe de façon à débrayer la roue R, puis le courant inverse ramène le cliquet *l* entre les dents de la roue R.

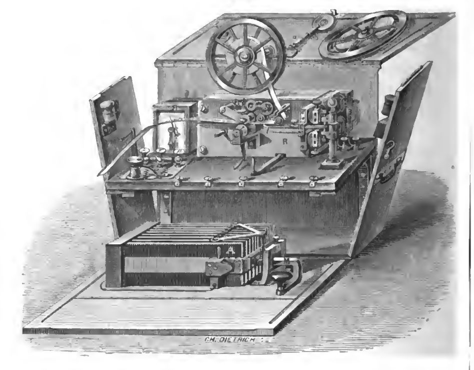
La télégraphie militaire, de même que la télégraphie maritime, n'auraient pu être réalisées sans l'intervention des générateurs magnéto-électriques. Dans ces deux cas,

on n'emploie plus les récepteurs à cadran; il faut recourir au récepteur à signaux conventionnels (par points et par lignes) de Morse. Le principe de Siemens a permis encore à MM. Digney d'appliquer les courants induits à la fonction de cet appareil.

*Télégraphe écrivant en langage Morse, de MM. Digney.* — On se rappelle qu'en principe le télégraphe Morse a pour effet de tracer, par voie électrique, des points ou des lignes sur un papier que déroule, d'une manière continue, un mouvement d'horlogerie. Un style arme le grand bras d'un levier, dont le petit se termine par une armature en fer doux que commandera, à l'instant voulu, l'électro-aimant qu'elle domine superficiellement. Le tracé originaire de Morse est le *gauffrage*, c'est-à-dire que le style *creuse* le papier, ce qui exige une certaine force électrique pour l'action du levier, d'où l'usage du *relai* et des *piles locales*. MM. Digney ont transformé ce mode d'écriture en renversant complétement la solution, donnée par Morse, du télégraphe écrivant. On voit (*fig.* 34) que le papier, se déroulant d'une manière continue, passe au-dessus de l'extrémité de la tige *t* qui va joindre le levier. Si cette tige *t* vient à relever le papier, celui-ci rencontre une roue encrée (un tampon enduit d'encre d'imprimerie la maintient toujours en état de marquer) qui y détermine un trait linéaire dont la longueur dépend du temps de contact. D'après la durée du passage de l'électricité dans l'électro-aimant, on aura donc une *ligne* ou un *trait* inscrits sur le papier, c'est-à-dire qu'on se retrouve dans le langage Morse, abstraction

faite de la force à fournir pour produire le *gauffrage*. MM. Digney ont encore perfectionné cet intéressant télé-

Fig. 34.




graphe en le rendant apte à fonctionner par l'émission de courants d'origine magnéto-électrique.

On retrouve, située entre les deux électro-aimants, la lame battante de Siemens, qui, étant aimantée *sud*, par exemple, est équilibrée par les deux pôles *nord* des noyaux. Dans cet état, la tige *t* n'appuie pas sur le papier, qui se déroule sans *tracé*. On exerce un appui sur la manette M du manipulateur, clef oscillante dont il a

été parlé (p. 40). Le courant direct qui est émis dans les bobines du récepteur détermine le mouvement de haut en bas de la courte branche du levier; par suite, *t* relève le papier; il y a tracé exécuté. Si on relève, le courant inverse ramène le levier dans sa position neutre. On voit donc que, dans ce cas, on exécute avec le manipulateur magnéto-électrique oscillant les mêmes manœuvres qu'avec la clef de Morse; seulement, il est à la fois source d'électricité et manipulateur.

### IV. — Horloges électriques.

L'électricité a été assujettie, par le génie de l'homme, à transmettre, à travers un circuit illimité, l'expression de sa volonté, d'une pensée quelconque. La solution admirable de ce grand problème a ouvert le champ le plus vaste à toutes les audaces de l'orgueil humain; il a voulu *télégraphier le temps*, et il a réussi.

L'importance de cette question ne souffre même pas la discussion. Qui de nous, à Paris ou dans telle autre grande ville, n'a quelque peu souffert de la discorde qui règne entre les horloges publiques? Les cadrans horaires d'ordre inférieur se contrarient aux plus petites distances. Que de rendez-vous sont, ou manqués ou altérés, parce que les montres des parties intéressées étaient réglées sur différentes horloges! Mais cela ne serait encore qu'un inconvénient, lequel certes ne devrait plus exister dans une ville comme Paris, qui engloutit l'or à son moindre caprice. L'inconvénient devient péril si, sur une ligne de chemin de fer, les cadrans des stations battent des heures

diverses. Il faut que l'horloge de la gare centrale *télégraphie* son heure sur toute la ligne, et cela, seconde par seconde. Si ce problème est résolu aujourd'hui, si la solution est appliquée sur toutes les lignes de chemins de fer, comment expliquer son abandon à Paris et son peu de succès dans les grandes villes, Bruxelles exceptée. Il n'y a d'autre objection à faire et d'autre raison à donner que la dépense nécessitée par une telle entreprise. Il y a quelques années, une Commission scientifique composée des savants les plus autorisés et des constructeurs du plus grand renom en pareille matière, avait adopté un programme dont le but était de régler électriquement les principales horloges de Paris d'après celle type de l'Observatoire. C'était un grand pas de fait et il était aisé. Devant quelle résistance a-t-on reculé? Si c'est l'argent qui a fait défaut, n'est-ce pas dérisoire? Le gouvernement de Paris n'a pas habitué ses administrés à une pareille considération.

Il y a vingt ans déjà, un savant électricien disait, à propos des premières tentatives d'horlogerie électrique : « Un temps viendra où l'horloge de l'Hôtel-de-Ville répétera mille fois, sur mille points séparés, son heure et sa minute régulatrices. Alors on aura conduit le temps à travers les rues de nos cités comme on conduit maintenant l'eau et le gaz. » Et, ajoutons que cette distribution du temps est indispensable, actuellement que la société est emportée dans la vie avec une telle vitesse, que chacun doit compter, non plus avec les heures, mais avec les secondes.

Si, pour le service d'une administration, d'un hôtel,

d'un théâtre, l'importance de l'uniformité de l'heure est moindre que pour le service des voies ferrées, elle reste cependant considérable. Comment réglementer le travail d'un ministère, si l'heure varie dans les divers bureaux? Comment assurer le temps des voyageurs pour leurs affaires extérieures, s'ils ne disposent pas de l'heure rigoureuse de la Ville? Et alors à quelle heure se fier, si les cadrans de l'hôtel ne sont pas en bonne intelligence? Assez de preuves: et posons aussi clairement que possible le problème que doit résoudre l'horlogerie électrique.

La question est double. On peut se proposer, en effet : 1° de construire des horloges électriques proprement dites, dans lesquelles l'électricité fait fonction de force motrice; 2° de faire marcher des appareils horaires ou compteurs électro-magnétiques, à l'aide d'un *appareil-type*, et donnant l'heure simultanément dans un grand nombre de points différents. La solution de la première question n'a pas jusqu'ici présenté d'avantages, car il n'y a aucun intérêt à substituer, comme force motrice, l'électricité aux poids et ressorts qu'invoque l'horlogerie mécanique.

*Pendule électrique de M. Paul Garnier.* — Comme exemple de *pendule électrique proprement dite*, nous ne pouvons mieux faire que de citer celle construite par M. Paul Garnier (1).

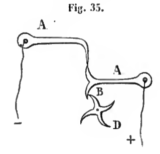
Le mécanisme employé par M. Paul Garnier est celui qu'il a présenté à l'Académie des Sciences en 1826, sous

(1) Un modèle a été construit spécialement pour la galerie de physique du Conservatoire des Arts et Métiers.

la dénomination d'*échappement libre à remontoir*, et qui est combiné de manière qu'une des oscillations du pendule s'opère sans que le rouage progresse, et que l'aiguille des secondes ne se meuve qu'à chaque double oscillation, ce qui présente l'avantage d'obtenir la seconde fixe avec un pendule à demi-secondes.

L'horloge type est donc celle destinée à envoyer l'heure aux appareils horaires par l'intermédiaire de l'électricité. Elle est disposée de façon à permettre et à interrompre le passage de l'électricité, à des intervalles égaux, dans les électro-aimants des indicateurs horaires. Elle se compose de deux rouages : l'un destiné, comme dans les horloges ordinaires, à entretenir les oscillations du balancier et à mesurer le temps; l'autre a pour but de produire la rupture et le passage du courant dans le circuit, et il est soumis à la marche du premier. Cette rupture se fait au moyen de deux pièces A et A', dont l'une d'elles A' appuie constamment sur un moulinet D, qui a quatre dents (*fig.* 35) excentriques et qui est porté par

Fig. 35.



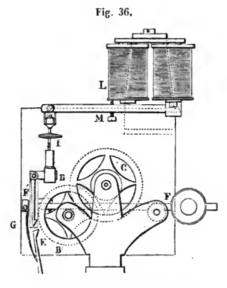

le dernier mobile du rouage auxiliaire; ce moulinet suit le mouvement de la roue d'échappement. Les deux

pièces A et A′ étant placées dans le circuit, il est facile de comprendre que, dans la position où les deux pièces se touchent, l'électricité passe dans les appareils horaires; mais le moulinet D continuant son mouvement, A′ quitte la dent B, avec laquelle elle était en contact, elle cesse également de toucher A, le circuit est interrompu, le courant n'arrive plus aux appareils horaires, jusqu'à ce qu'une autre dent vienne à soulever A′ de nouveau.

Tandis que l'horloge type fonctionne essentiellement en vertu d'une force purement mécanique, le cadran horaire récepteur est absolument mû par l'électricité.

*Cadran horaire de M. Paul Garnier.* — Le courant arrive dans l'électro-aimant LL (*fig.* 36), l'armature M est

Fig. 36.




attirée et elle tire le levier FF′ par la tringle I; or

celui-ci est affecté d'un mouvement de bas en haut équivalent à l'intervalle d'une dent du rochet B. La tête du valet G porté par le levier FF′ est engagée dans l'une des dents de ce rochet; il entraîne la dent avec lui, et le sautoir E se place devant la dent suivante pour empêcher le recul qui aurait lieu quand le levier FF′ vient, en se détachant, à remettre le valet G en prise. Dès que le circuit est ouvert, l'armature quitte l'électro-aimant, et le levier FF′, sollicité par son poids, vient reprendre sa position première, ainsi que le valet G, qui cède en passant par-dessus la dent du rochet qu'il doit entraîner à l'action suivante. Ainsi cet appareil fonctionne par l'action directe de l'électricité sur le levier F, lequel met en mouvement le rochet B dont le pignon fait marcher la roue C, qui, à son tour, communique le mouvement aux aiguilles.

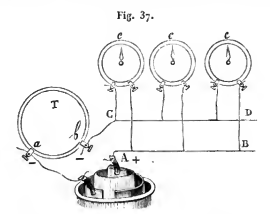
L'horloge, ainsi disposée, peut envoyer l'heure non-seulement à l'appareil horaire que nous venons de décrire, mais encore à une infinité de cadrans de toutes dimensions et à toutes distances; il suffit d'augmenter le nombre des éléments de la pile en même temps que celui des cadrans.

Nous indiquons (*fig.* 37) la disposition du circuit adopté par M. Garnier pour mettre en ligne plusieurs cadrans horaires qui dépendent de la fonction d'un même régulateur électrique.

La pile envoie son courant positif à une borne du régulateur et son courant positif à la ligne AB qui est constituée par un gros fil de cuivre; la seconde borne du

régulateur prend une ligne parallèle CD formée du fil de même diamètre. Les cadrans récepteurs sont représentés

Fig. 37.




en C, C,..., et de chaque borne partent des fils, qui aboutissent les uns sur CD, les autres sur AB, et cela dans le même ordre, bien entendu. Il n'est pas besoin d'autre indication pour que l'on comprenne que, les bobines des électro-aimants de ces cadrans ayant la même résistance à la conductibilité, le courant fonctionnera identiquement et au même instant dans chaque cadran. On conçoit également que les résistances des fils AB et CD doivent être nulles par rapport à celles des fils des électro-aimants.

*Cadran électrique de M. Breguet.* — Nous donnons la description du système de cadran récepteur de M. Breguet (*fig.* 38). Le courant passe successivement dans les deux électro-aimants E, E′, de telle façon que leurs pôles de nom contraire se trouvent opposés. Entre les deux électro-aimants est placée l'armature AA, qui est en

acier et aimantée. On comprend que l'un de ses pôles, placé entre deux pôles contraires des électro-aimants **E, E'**,

Fig. 38.



sera attiré par l'un d'eux et repoussé par l'autre; sur le second pôle de l'armature agiront de la même façon les deux autres pôles de l'électro-aimant. Si le courant, circulant dans les bobines, vient à changer de sens, les attractions se changent en répulsions et *vice versâ*, de telle sorte que l'armature portée par les vis *v* basculera et entraînera avec elle la longue tige *t* terminée par une

fourchette; dans cette fourchette pénètre une goupille portée par la pièce *i* mobile autour de sa partie supérieure; la goupille entraîne dans son mouvement la pièce *i* et une pièce *i'* tout à fait symétrique, dont chacune porte un petit cliquet agissant sur une roue à rochet *r*, dont l'axe porte l'aiguille des minutes. Les deux cliquets agissent l'un après l'autre; mais celui qui n'agit pas amène un des filets dans l'une des dents de la roue à rochet, et l'empêche ainsi d'avancer de plus d'une dent par la secousse de la tige *l*, qui lui est transmise par le premier cliquet. Le rochet a soixante dents, de sorte que si le courant est envoyé à chaque minute et chaque fois en sens inverse, l'aiguille parcourra tout le cadran en une heure. Entre les deux platines *cc* est placée une minuterie, c'est-à-dire un système de trois roues dentées transmettant le mouvement à l'aiguille des heures. Quand on veut faire des horloges de grande dimension d'après ce principe, on est obligé de faire usage d'un artifice particulier; la force de l'aimantation ne suffirait pas à conduire de grandes aiguilles : on introduit dans l'appareil un rouage qui se remonte comme celui d'une horloge ordinaire : ce rouage pousse constamment les aiguilles en avant, et les électro-aimants n'ont d'autre mission que de conduire un échappement à palettes ordinaire, qui, de minute en minute, dégage le rouage et permet aux aiguilles d'avancer.

Le régulateur unique, pendule type, a pour fonction d'envoyer de minute en minute un courant chaque fois inverse; M. Breguet obtient cet effet à l'aide d'un inverseur

circulaire placé sur une roue faisant un tour en cinq minutes. La disposition est telle. que le courant est maintenu pendant quatre ou cinq secondes, afin que la fonction des électro-aimants soit assurée; il est interrompu ensuite pendant cinquante-cinq secondes. Comme régulateur, M. Breguet préfère les pendules à balancier de sapin de 1 mètre de longueur, dont la marche est indépendante des variations de température. Les pendules de ce système exigent deux éléments de pile par appareil.

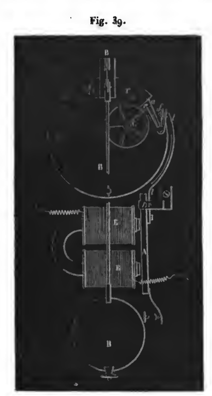
Si le courant cesse de passer dans un cadran, le système s'arrête; des accidents de mauvaise conductibilité peuvent survenir sur certains points; or tous les cadrans étant dépendants l'un de l'autre, ils sont, par suite, soumis aux mêmes accidents.

*Remise à l'heure: système Breguet.* — M. Breguet a imaginé un système qu'il nomme *remise à l'heure*, en vertu duquel chaque pendule fonctionne d'une manière indépendante et se trouve ramenée à l'heure du *type* toutes les douze heures.

Le mouvement de *remise à l'heure* se compose (*fig.* 39) de deux rouages: l'un est réglé par le balancier BBB et conduit les aiguilles en temps ordinaire; l'autre ne sert qu'à la mise à l'heure par voie électrique. Le chaperon C et la roue *r* font partie de ce second rouage; quand le courant vient à passer dans l'électro-aimant E, il attire l'armature A, qui pivote autour des vis *v*, la tige *tt* de l'armuture porte à sa partie supérieure une goupille qui entre dans la fourchette *f*, montée sur le même axe que

l'arrêt *a* et le couteau *c*; ces trois pièces se trouvent ainsi entraînées dans le mouvement de l'armature, et l'arrêt *a* cessant de retenir le rouage par la goupille de la roue *r*, il se met en marche et ne s'arrête que quand

Fig. 39.



le chaperon a fait un tour entier et que, le couteau rentrant dans l'encoche du chaperon, la pièce *a* peut arrêter le rouage par la goupille de la roue *r*. Les deux roues *m* et *n* font également partie du rouage de remise à l'heure; elles portent chacune un galet *u*; ces deux galets, quand le

rouage est déclanché, viennent saisir la queue $x$ (*fig.* 40) qui est invariablement liée à l'aiguille des minutes et

Fig 40.

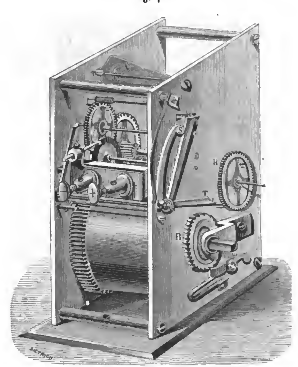


l'amènent dans la direction du *midi*. La pendule est donc remise à l'heure.

*Distributeur d'heures de MM. Digney.* — MM. Digney avaient à résoudre un problème d'horlogerie électrique très-intéressant. Disposer d'une seule horloge réglementaire et distribuer les heures (demies et quarts au besoin) dans les différentes pièces d'un établissement, et par l'intermédiaire de timbres électriques. L'organisme de l'horloge n'est pas changé; il n'y a que l'addition d'une pièce indépendante que l'on met en relation avec la minuterie existante. Ce distributeur des heures consiste en une roue métallique $r$ munie de dents isolées dont la disposition coïncide avec celle des roues des heures du chaperon (*fig.* 41). On comprend que le courant partira, lorsque le contact existera entre la lame $l$ et la partie conductrice de la roue du distributeur, laquelle coïncide, quant à sa position, avec celle du chaperon. Si celui-ci

est divisé pour la seule sonnerie des heures, à chaque dent lâchée correspondra une émission de courant de la part du distributeur, et par suite un coup au timbre


Fig. 41.




récepteur. On comprend que plusieurs timbres électriques peuvent être mis en ligne sur le même circuit, et, par suite, que les indications d'heures d'une même horloge puissent être répercutées par les timbres de plusieurs récepteurs. On comprend aussi qu'il soit très-aisé de distribuer les demi-heures et les quarts d'heure.

Il suffira, en effet, de diviser en conséquence la roue du chaperon. On pourrait tout aussi aisément transmettre des signaux acoustiques à un espace de minutes quel qu'il soit: ce ne serait qu'une question de mode de division du chaperon.

La solution du *distributeur de sonneries d'heures* à des timbres multiples, telle qu'elle est donnée par MM. Digney, est très-fertile en applications. Au point de vue d'une administration, il est important que la même heure soit sonnée dans tous les bureaux. Plus n'est besoin de pendules; le timbre électrique avertisseur de la porte fera ce service en répétant, tous les quarts d'heure, *l'heure et sa fraction*. Ce problème avait été posé pour le service horaire d'un établissement scolaire de Danemark. La réponse a parfaitement répondu aux exigences de la demande, et l'on pourrait dire que son extension transformerait le cadran de l'horloge en un véritable manipulateur télégraphique dont une sonnerie électrique serait le récepteur.

### V. — L'électricité force motrice.

*Considérations générales.* — A peine eut-on connaissance de l'énorme puissance portative des électro-aimants, que l'on songea, dans l'industrie, à utiliser l'électricité comme force motrice. On peut, il est vrai, considérer l'électricité comme agent moteur dans les divers appareils que nous avons étudiés; mais il y a cette restriction que, tout en agissant par attraction sur un or-

gane, l'électricité, par cela même, détermine la mise en œuvre d'une force mécanique indépendante. Sa puissance effective restant très-minime, peut déterminer l'action d'une force mécanique considérable. C'est le seul rôle mécanique auquel l'électricité puisse encore prétendre; toutes les tentatives qui ont été faites dans le but d'utiliser directement la force des électro-aimants ont été et restent vaines, par les considérations théoriques que nous allons résumer.

Examinons d'abord le type (*fig.* 42) d'électromoteur le plus simple; il est dû à Froment, qui a étudié à fond la question au point de vue de ses applications. Après avoir créé nombre de modèles, cet éminent artiste est mort en laissant au Conservatoire des Arts et Métiers un dernier type, qui est la preuve manifeste de l'inanité de la transformation avantageuse de l'électricité en force mécanique. Une série d'électro-aimants sont disposés circulairement entre les montants d'un bâti. Entre leurs pôles, roule une roue armée de palettes de fer doux. Sur les côtés, on voit un organe, *distributeur d'électricité*, qui a pour fonction d'émettre consécutivement l'électricité d'un électro-aimant au suivant. On comprend aisément que, grâce à cette combinaison, les pôles d'un électro-aimant attirent la palette la plus voisine; celle-ci arrivée face à face avec lui, l'électricité a gagné l'électro-aimant suivant qui attire à son tour, etc. Chaque électro-aimant agissant isolément, la puissance attractive augmente avec leur nombre. On peut, avec une bonne disposition des organes divers de l'appareil,

obtenir un mouvement plus ou moins rapide, souvent très-rapide, mais le moteur ne possède que de la vitesse


Fig. 42.

et très-peu de force. Quelles sont les causes qui s'opposent à ce qu'on ne retrouve pas en force mécanique l'équivalent d'électricité dépensée, puisqu'on peut économiquement obtenir en électricité l'équivalent de la force mécanique formée dans les machines magnéto-électriques? La force magnétique qui se produit au con-

tact des armatures et des électro-aimants est très-considérable; mais, à une très-petite distance, elle diminue très-rapidement. La force magnétique, dans ces circonstances, est donc du même genre que celle que l'on développe par les leviers, la presse hydraulique; les appareils peuvent donner une très-grande force, mais ils fournissent peu de course. On n'utilise donc qu'une très-faible partie de la puissance magnétique des électro-aimants. Cette force est proportionnelle à l'intensité et à la quantité de l'électricité qui afflue dans les fils de l'électro-aimant. Il faut pour produire une action quelque peu énergique recourir à la pile à acide nitrique à grande surface. Cette pile, on le sait, n'a qu'une courte durée, elle n'est constante à son maximum que durant cinq ou six heures; en outre, elle est très-incommode, et nuisible par les émanations d'acide hyponitrique; de plus elle est très-coûteuse. S'il était possible d'obtenir une force de 1 cheval, on userait déjà par cheval et par heure de 2 à 3 francs de zinc, selon la disposition du moteur; ajoutant le prix des acides, le cheval reviendrait à près de 4 à 5 francs par heure.

Étant donné un électro-aimant, on n'augmentera pas indéfiniment sa puissance effective en accroissant le nombre des couples électriques qui l'alimentent; en outre, il y a une limite de puissance magnétique que le fer ne dépassera pas.

Le fer doux, c'est-à-dire pur, n'existe pas; or lui seul prend et perd la force magnétique dans le temps le plus court. Le fer du commerce garde toujours plus ou

moins de puissance magnétique (*magnétisme rémanent*), qu'on parvient à éliminer par des subterfuges dans les appareils télégraphiques, mais qu'on ne peut détruire dans ces électro-aimants à puissante charge d'électricité. C'est donc là une force inverse qui produit une résistance.

Au moment où le courant cesse de passer, ou bien change de sens, il se manifeste, au distributeur, une étincelle qui est due à un courant d'induction ; ce courant paralyse une partie du courant utile, et, de plus, l'étincelle brûle le communicateur, ce qui diminue la facilité de la circulation de l'électricité.

Enfin la pile, quelle qu'elle soit, offre une résistance au passage de l'électricité : elle ne donne pas aux électro-aimants toute l'électricité qui correspond au poids de zinc consommé.

Il faudrait donc, en résumé, pour utiliser la transformation de l'électricité en force mécanique :

Employer un générateur qui donnerait l'électricité à bas prix, en fournissant la plus grande quantité possible à l'électromoteur;

Avoir du fer absolument pur;

Combiner un distributeur qui ne perdît pas d'électricité, lors du passage d'un électro-aimant à l'autre ;

Reculer la limite d'aimantation des noyaux attractifs.

Ces considérations montrent combien la question est peu avancée au point de vue pratique. Nous ne saurions donc trop conseiller la prudence aux inventeurs qui prétendent appliquer avantageusement la force vive des électromoteurs.

*Machines à coudre électriques.* — L'industrie des machines à coudre a pris une extension considérable; plusieurs inventeurs ont pensé qu'on pourrait les animer par l'intermédiaire d'électromoteurs. Pour certaines, la force à développer n'est pas très-considérable il est vrai; mais, vu le rendement de la machine par journée de travail, la dépense de l'électricité ferait du bénéfice une utopie. On a proposé ensuite ces machines à coudre électriques, comme machines de luxe; mais là encore, il y a un obstacle: c'est la pile. Il a été dit, en effet, que la pile à acide nitrique est seule capable de fournir le courant d'intensité suffisante. Or, comment admettre que cette pile soit acceptée par les gens du monde, tant à cause de ses émanations que de son peu de vitalité? Jamais on ne consentira à monter à neuf, tous les jours où l'on veut travailler, une pile de 6 à 8 grands couples à acide nitrique. Il ne faut donc pas accepter comme possible la machine à coudre électrique, même au titre de pure fantaisie.

*Métiers électriques.* — Si l'on parvenait à utiliser la force vive d'un électromoteur, il se présenterait une autre question à résoudre, dont l'énoncé doit encore trouver sa place dans ce Chapitre. Il s'agirait de faire fonctionner électriquement un métier de tissage. Dans les pays où cette industrie est en vigueur, comme en Normandie et en Picardie, un grand nombre d'ouvriers travaillent chez eux; dès lors, leurs métiers fonctionnent à force humaine. On réaliserait un progrès humanitaire, et industriel aussi, si l'on fournissait à ces

travailleurs, détachés de l'usine, un moteur qui économiserait leurs forces et leur permettrait d'en tirer un parti plus avantageux. Le chef de l'industrie profiterait de ce bienfait en recevant des livraisons plus considérables. Bien d'autres problèmes très-intéressants pourraient être résolus; mais que dire, quand les travaux les plus sérieux d'hommes éminemment autorisés n'ont permis d'obtenir, par l'électricité, qu'un rendement de quelques kilogrammètres, à des prix impossibles?

*Freins électriques.* — Le rôle de l'électricité comme force motrice est donc ainsi limité pour l'instant: « Déterminer, à un moment donné, l'action d'une force mécanique. » Nous l'avons vu pour les horloges, les télégraphes et les appareils de cet ordre, où il ne s'agissait que d'une force mécanique relativement faible. Mais, la question peut aussi être résolue s'il s'agit de mettre en œuvre, sous le commandement de l'électricité, les forces les plus considérables. La preuve en a été donnée par M. Achard, lors de ses expériences remarquables sur l'arrêt instantané des trains par l'intervention de l'électricité. Jusqu'alors on avait appliqué les électro-aimants de façon à *mordre* les rails, lors du passage du courant électrique; mais cette force d'attraction était dérisoire comparée à la force d'impulsion du train. M. Achard a tourné la difficulté en prenant comme agent de l'arrêt du train sa force vive elle-même.

Il n'y a plus, dans le wagon-frein, que quelques couples

qui animent d'une façon continue un système d'électro-aimants de façon à maintenir son armature en attraction.

Au signal donné, on arrête le passage du courant, l'armature est lâchée et elle débraye un rouage de chaînes qui fonctionne par la force vive du train, de façon à serrer les freins des roues. Rien n'est plus simple en théorie, et de nombreuses expériences ont prouvé l'efficacité de ce mode d'arrêt pour une distance de 200 mètres et même de 100 mètres.

Pourquoi, dira-t-on, les administrations de chemins de fer français n'ont-elles pas adopté ce procédé avec reconnaissance? Mais, l'inventeur est Français, il faut que son œuvre ait un peu vieilli à l'étranger, sur la ligne du Pacifique par exemple, pour revenir et être adoptée dans son pays. Nos Compagnies ont toute innovation à contre-cœur, on les gêne en leur proposant quelque perfectionnement: *cela marche comme cela*, les trains de Souverains n'ont pas encore été mis en dommage (il est vrai qu'on essaye le matériel à l'avance, qu'on rend la voie libre, qu'on *répète* le voyage), cela suffit. Pour les simples particuliers, qui payent leurs places plus cher que dans tout autre pays, eh bien, quelques contusions, accompagnées de plus ou moins de morts, ne signifient rien. On prouve même que les diligences étaient bien plus dangereuses, dans leur temps. Enfin, il ne faut jamais désespérer de rien, même du mauvais esprit des administrateurs de Compagnies financières.

Le frein électrique de M. Achard donnera lieu à des

applications nombreuses, et son emploi se généralisera lorsqu'il aura été mis en fonction d'une façon continue sur une ligne de chemin de fer; car alors chacun pourra se convaincre de l'efficacité de cet engin.

### VI. — Indicateurs électriques.

*Thermomètres à maxima et à minima.* — L'électricité permet de *télégraphier* la température d'un lieu aussi bien que l'heure ou un signal quelconque. Il est important, pour les serres, les séchoirs à graine, les étuves, les salles de bain, etc., de savoir si la température atteint un *maxima* ou un *minima*. Cette donnée est également utile pour les salles d'assemblées, théâtres, amphitéâtres. L'organisation du *télégraphe thermométrique* est très-simple. L'appareil se compose d'une pile de deux couples à longue durée, d'une sonnerie mise au poste d'avertissement, et de thermomètres à maxima et à minima placés dans l'enceinte dont il faut surveiller la température.

Le thermomètre se distingue du modèle à mercure ordinaire par l'adjonction de deux communications en fils de platine, dont l'une aboutit au mercure de la cuvette, et dont l'autre passant par la tige arrive en regard du point qui correspond à la température que l'on ne doit pas dépasser; on peut également, d'après ce principe, indiquer une température *minima*. On comprend que, si le thermomètre et la sonnerie se trouvent dans le même circuit, la fermeture du circuit aura lieu lors du contact du

mercure et de la communication B', la sonnerie jouera et l'avis sera donné (*fig.* 43).

Fig. 43.



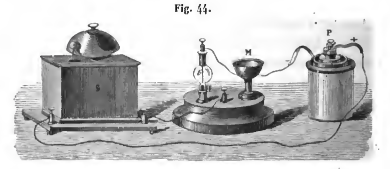

On peut également combiner des manomètres électriques, qui indiqueront le moment ou un gaz ou une vapeur atteindront une limite de pression. Un tel indicateur serait surtout utile pour une maison, un hôtel, etc., chauffé par la vapeur d'eau.

*Indicateur des fuites de gaz.* — Le principe de la diffusion des gaz au travers des corps poreux, tel que l'a établi M. Graham, est celui-ci. Lorsque deux gaz différents se trouvent séparés par une cloison poreuse, ils tendent à se mélanger en filtrant à travers les pores de la matière; mais la *vitesse de passage* est différente pour les

deux gaz. Il en résulte que le milieu se charge en excès du gaz qui passe le plus rapidement : d'où un excès de pression sur la paroi qui limite ce milieu et qui peut être une membrane ou une surface liquide. En admettant que cette surface commande un indicateur quelconque, on pourra noter le degré de proportion du passage du gaz dans le milieu qui lui est contigu. M. Ansell a imaginé de traduire ce mouvement de diffusion par voie électrique pour avertir, à l'aide d'une sonnerie, les ouvriers mineurs de l'arrivée du gaz ennemi, l'hydrogène protocarboné (le *grisou*).

Cet indicateur, construit par M. Salleron, consiste en un tube dont l'extrémité supérieure est terminée par un entonnoir M fermé au moyen d'une plaque de terre poreuse; l'autre extrémité communique avec le récipient H (*fig.* 44); du mercure remplit ces tubes jusqu'à un certain niveau; en *t* est un fil de platine qui est mis en

Fig. 44.




relation avec un des pôles de la pile; l'autre pôle va à la sonnerie S.

L'appareil est réglé de telle sorte, que le niveau du

mercure n'atteigne pas le fil de platine. Si l'appareil est introduit dans un milieu qui contienne de l'hydrogène carboné, ce gaz passera à travers la cloison. Il résultera, de ce fait, un excès de pression qui amènera le mercure en contact avec le platine : dès lors le circuit de la sonnerie électrique se trouvera fermé, et le *carillon* constant indiquera aux ouvriers l'arrivée de leur ennemi mortel. Si, au contraire, le carillon s'arrête, c'est que le gaz nuisible cessant d'affluer, le mercure a repris son premier niveau.

M. Ansell a combiné un appareil du même genre sous forme de *baromètre métallique*. Il donne même une échelle de graduation de la proportion du gaz hydrocarboné dans l'atmosphère ambiante, par rapport à la déviation de l'aiguille indicatrice.

L'importance de cet appareil n'est pas limitée à l'annonce de l'arrivée du grisou dans les mines. Sa sensibilité est telle, que les fuites de gaz dans les salles et les amphithéâtres peuvent être en quelque sorte mesurées par le système barométrique. Quant à l'appareil avertisseur, il indiquera le danger dès que la pression du gaz d'éclairage, dans l'atmosphère, aura atteint la limite prévue par la course réservée à la colonne de mercure; cet indicateur est tellement simple, tellement précieux, qu'il devrait être d'un usage général dans tous les établissements publics.

*Avertisseur des cimetières.* — En Allemagne, dans un certain nombre de villes, la sonnerie électrique sert à prévenir les inhumations précipitées, ou, si l'on veut, *anticipées*. Tout récemment, cette méthode vient d'être

adoptée à Menton. Les morts y sont mis en chapelle dans une salle où est installée une sonnerie électrique; celle-ci est disposée de telle sorte, qu'en cas de mort apparente, le faux défunt, aux mains duquel sont attachés les fils de l'appareil, ne peut sortir de léthargie sans que le courant aussitôt établi mette en mouvement une sonnerie située dans la chambre des morts et une autre placée dans celle où se tient le gardien préposé à la veillée des morts.

## VII. — Paratonnerres.

*État des connaissances actuelles.* — La peur du *tonnerre* a existé de tous temps et, aujourd'hui que l'on connaît la nature électrique du météore et les moyens de s'en préserver, cette crainte subsiste encore vivace et inébranlable. Les éclats terribles et majestueux de la foudre imposeront toujours aux natures même les moins impressionnables. De tous temps, les hommes se sont donc préoccupés des moyens de se préserver de la foudre et l'histoire prouve, par de nombreux exemples, que les prêtres de l'ancien temps et les studieux du moyen âge ont porté leur attention sur la propriété des pointes métalliques, base du procédé de préservation actuelle. Il faut attendre la seconde moitié du XVII^e^ siècle pour voir les physiciens établir nettement l'origine électrique de la foudre. Dès qu'Otto de Guericke, le fameux auteur de la machine pneumatique, eut construit la première machine capable de donner des étincelles électriques puissantes, les physiciens furent tentés d'assimiler l'*étincelle*

à la *lumière* de la foudre et le *craquement* qu'elle produit au bruit du tonnerre. Le tonnerre, dit-on alors, est entre les mains de la nature ce que l'électricité est entre les nôtres. Cette idée me plait, disait le fameux abbé Nollet, mais elle demande à être bien soutenue.

Vers 1750, l'illustre Franklin étudia l'étincelle fournie par la bouteille de Leyde, qui venait d'être découverte; il parvint à fondre des fils métalliques par sa décharge et reconnut qu'on pourrait volatiliser la dorure d'un objet en bois sans brûler ce dernier. A dater de ce moment, les idées de Franklin furent arrêtées et il songea à se *procurer de l'électricité de l'atmosphère*. Venant de découvrir le pouvoir des pointes, il voulut l'appliquer à *soutirer* le fluide des nuages; il avait même arrêté le plan de la construction d'un *paratonnerre* qui serait érigé sur un clocher de Philadelphie. C'était en cet endroit élevé que Franklin voulait placer une tige destinée à lui procurer l'électricité tant désirée; mais les travaux ne marchaient pas et d'Alibard, physicien français, put réaliser, à Marly-la-Ville, l'expérience indiquée par lui, en tirant des étincelles au pied d'une tige de fer haute de 14 mètres.

Cette expérience eut un grand retentissement, et, dans l'année 1753, elle fut répétée par plusieurs physiciens, tant en France qu'à l'étranger. C'est alors que Franklin, fatigué d'attendre la fin des constructions de Philadelphie, lança son célèbre *cerf-volant* et obtint pour la première fois de fortes étincelles. Un an après, M. de Romas répéta cette expérience en France et, ayant eu l'heureuse

idée de placer un fil métallique dans toute la longueur de la ficelle de l'appareil, il put obtenir des étincelles formidables. Richemann, à Saint-Pétersbourg, omit de placer un carillon électrique près du récepteur et ne fut pas averti de sa charge; s'approchant imprudemment, il fût tué par la décharge.

Depuis ces grandes expériences, l'Académie des Sciences s'occupa à sept reprises des conditions de la pose des paratonnerres.

Voici les dates :

Le 24 avril 1784. Premier Rapport fait à l'Académie par une Commission composée de Franklin, Leroy, Coulomb, de Laplace, abbé Rochon.

Le 27 décembre 1799 (6 nivôse an VIII). Deuxième Rapport fait par de Laplace, Coulomb et Leroy.

Le 25 août 1807. Instruction sur les paratonnerres des magasins à poudre, par le Comité des fortifications. (Instruction soumise à l'approbation de l'Académie des Sciences.)

Le 23 juin 1823. Instruction sur les paratonnerres, adoptée par l'Académie des Sciences. Commission : Poisson, Lefebvre, Gineau, Girard, Dulong, Fresnel, Gay-Lussac.

1855. Instruction qui est restée seule adoptée de nos jours.

Le 14 janvier 1867. Rapport sur l'installation des paratonnerres sur les magasins à poudre. Commission : Becquerel, Babinet, Duhamel, Fizeau, Ed. Becquerel, Regnault, Maréchal Vaillant, Pouillet rapporteur.

Juillet 1868. Instruction sur l'organisation des paratonnerres du Louvre et des Tuileries. Commission : Becquerel, Babinet, Duhamel, Ed. Becquerel, Maréchal Vaillant, Pouillet rapporteur.

L'usage des paratonnerres n'est vraiment populaire qu'en Amérique, pays fortuné où la civilisation a progressé si rapidement sous l'égide de la liberté. A Paris, centre de la science, même à l'époque actuelle où la construction invoque le fer comme élément essentiel, le paratonnerre est considéré comme un objet de luxe, si ce n'est pour les édifices publics. Nous dirons plus, cet appareil inspire la crainte : « il attire la foudre », dit-on, et le plus sûr, c'est de s'en passer. Pourquoi, lorsque la science de l'électricité a fait des pas de géant dans la voie du progrès, le public est-il aussi ignorant et même aussi superstitieux à l'égard de l'électricité de l'atmosphère? L'individu le plus sensé divague encore quand il s'agit du tonnerre; à ce sujet, il écoute naïvement les fables les plus insensées. C'est que l'homme est un grand enfant et qu'il redoute toujours ce qui gronde fort à son oreille et ce qu'il ne peut palper de ses deux mains.

Pourquoi aussi les *Instructions sur les moyens de se préserver de la foudre*, rédigées par les plus illustres savants, sont-elles toujours *les mêmes*, c'est-à-dire toujours aussi évasives? Pourquoi enfin, depuis Franklin, n'a-t-on rien fait, ou à peu près, pour en savoir plus sur l'électricité atmosphérique? Ascensionnistes scientifiques en ballon, un peu de vrai dévouement, attaquez-vous aux nuages orageux! Il faut le reconnaitre, à une époque où l'on rebâtit

de fond en comble une capitale comme Paris, il est presque impardonnable de ne pas se préoccuper des moyens de préserver de la foudre des édifices aussi considérables que ceux qu'on érige à si grands frais.

Voyons, abstraction faite de toute théorie spéciale, voyons avec l'œil du bon sens, ce qu'il peut advenir de l'influence d'un nuage orageux sur un bâtiment.

Toutes choses égales, la foudre, en général, se dirige de préférence sur les parties élevées d'un édifice. Ainsi, c'est dans ces parties que les moyens de préservation, quels qu'ils soient, doivent être établis.

Toutes choses égales, la foudre se porte de préférence sur les métaux. Lorsqu'une masse de métal occupera le point culminant d'un édifice, on sera à peu près certain que la foudre, si elle tombe, ira la frapper.

La foudre qui a pénétré dans une masse métallique ne produit de dégâts qu'au moment de sa sortie et aux environs des points par lesquels cette sortie s'opère. Une maison sera donc garantie, du faite aux fondations, si les pièces métalliques du toit se prolongent sans solution de continuité jusqu'en terre. La terre humide offre à la matière fulminante, dont une barre métallique s'est imprégnée, un écoulement facile qui s'opère sans effort, sans détonation, sans dégât d'aucune sorte. En plongeant cette barre à une profondeur au-dessous des fondations de la bâtisse, on les préservera également. Quand il y a sur le toit plusieurs pièces métalliques distinctes, complétement séparées les unes des autres, il est impossible de dire laquelle de ces masses sera foudroyée de

préférence, car le point de départ des nuées orageuses, le sens et la vitesse de leur propagation ne doivent pas, à beaucoup près, être sans influence, Le seul moyen de sortir d'embarras est d'unir toutes ces masses entre elles par des tringles de fer, de cuivre, etc., de manière à ce qu'elles communiquent toutes avec la barre destinée à transmettre la foudre au sol humide. Voilà, sans théorie aucune, l'exposé du *paratonnerre*. Voilà bien l'essence pure et simple du paratonnerre; il n'y a pas d'équivoque possible. Mais quelles sont les questions que soulève naturellement le sujet? Le paratonnerre est une tige. Se terminera-t-elle en pointe ou en boule? Franklin tenait à la pointe; sa pensée est bien formulée dans ce vers : « *Eripuit cœlo fulmen, sceptrumque tyrannis.* » C'est bien la pointe qu'il opposait aux foudres du ciel et de la terre.

Si Franklin errait alors dans de fausses idées sur le *pouvoir des pointes*, Arago a bien établi, dans sa *Notice sur les paratonnerres*, la puissance d'efficacité qu'il faut reconnaître à l'*influence* pour neutraliser les nuages orageux, influence que les nouvelles instructions académiques rejettent à peu près formellement. Et cependant les expériences parlent d'elles-mêmes. Élevons deux paratonnerres, l'un à pointe, l'autre à boule. Établissons une interruption de quelques millimètres à la base et examinons ces espaces vides lorsqu'un nuage orageux dominera les tiges métalliques. Une nuée d'étincelles illuminera l'espace vide du paratonnerre à pointe, l'autre restant obscur. Le paratonnerre à pointe a donc déchargé le nuage orageux, par influence, c'est-à-dire par dé-

charges faibles successives. Si la foudre tombe, elle frappera, d'un seul coup, de préférence le paratonnerre à boule; malheur alors à l'édifice, si la moindre interruption se présente dans le circuit qui doit conduire la matière électrique en terre.

Mais laissons la parole à la Commission de 1867, qui ne reproduisit à peu près que les conclusions émises par celle de 1855.

Lorsqu'un paratonnerre a perdu sa pointe aiguë sous le coup de foudre et que son sommet n'est plus qu'un large bouton de fusion d'or ou de platine, on doit se demander s'il est ou s'il n'est pas hors de service. A cette question la Commission répond : Non, le paratonnerre n'est pas hors de service, pourvu qu'il continue d'ailleurs à remplir ces deux conditions essentielles : que le conducteur soit sans lacunes; que par son extrémité inférieure il communique largement avec la nappe souterraine. Seulement, en perdant sa pointe, le paratonnerre a perdu quelque chose de son action préventive. L'aigrette ne pourrait se reproduire que sous l'influence d'une action beaucoup plus forte et la fusion, qui dépendait surtout de la finesse et de l'acuité de la pointe, ne pourrait se renouveler que très-difficilement. L'air n'est donc plus électrisé directement par l'aigrette sous forme lumineuse, cette part de l'action préventive a disparu; en outre, celle qui peut dépendre de l'air électrisé par son contact avec toutes les positions supérieures de la tige est probablement beaucoup plus petite. Au reste, s'il est vrai que le vent emporte bien loin du nuage l'air

électrisé par l'aigrette aussi bien que l'air électrisé par la tige, l'action préventive est si souvent réduite à rien, qu'il n'y a pas lieu de la regretter beaucoup.

La conclusion est donc, qu'en perdant sa pointe, un paratonnerre ne perd, en réalité, qu'un très-faible avantage. Par ces motifs, la Commission a été conduite à conseiller de terminer le haut du paratonnerre par un cylindre de cuivre rouge de 2 centimètres de diamètre sur 20 centimètres de longueur, dont le sommet est aminci, pour former un cône de 3 centimètres de hauteur. Si la foudre vient à éclater, c'est par le cône de cuivre qu'elle pénètre dans la tige et le conducteur, et c'est par eux qu'elle va se neutraliser dans la nappe souterraine. C'est un coup de foudre ordinaire, seulement il est sans dommage pour le paratonnerre et pour l'édifice qu'il protège; il ressemble ainsi aux coups de foudre innombrables qui, pendant les orages, s'éteignent au milieu de l'atmosphère.

Que dira donc la Commission si on lui objecte que les gouverneurs des édifices publics sont incapables de se rendre compte de l'état dans lequel se trouvent les paratonnerres qui doivent les protéger? Le dilemme suivant nous semble concluant : le paratonnerre à pointe protége forcément au point de vue préventif, en neutralisant le nuage électrisé par influence, et, au point de vue direct, autant que peut le permettre son état de conductibilité; le paratonnerre à boule détermine le *foudroiement* de l'édifice, *s'il existe la moindre irrégularité dans la conductibilité de son circuit.*

Est-il utile de poser des paratonnerres inclinés? Voilà un système qu'on retrouve appliqué très-souvent. Il est bien curieux que, dans les *sept Rapports académiques*, on retrouve le même doute à cet égard. Chacun sait ce que c'est que l'*électroscope :* deux feuilles d'or fixées à un même point et qui s'écartent lorsqu'elles sont électrisées. Dominant l'instrument par une pointe, si celle-ci est couchée horizontalement, les feuilles d'or ne divergeront pas, quand même l'atmosphère serait chargée d'électricité; mais, si l'on redresse la pointe, elles divergent aussitôt. Les tiges obliques sont donc impuissantes, et cela se comprend, elles s'adressent à une seule couche atmosphérique, qui doit toujours conserver son état d'équilibre. Mais, s'il arrive des *décharges latérales*, évidemment le paratonnerre oblique offre un circuit à la foudre : ce sont des cas très-rares.

Les instructions académiques ne se prononcent pas sur l'*étendue réelle que protége un paratonnerre*. C'est là pourtant la grande affaire. Leroy disait autrefois qu'un paratonnerre protégeait un circuit circulaire de trois fois la tige en diamètre. L'Académie s'est prononcée, en 1823, pour *deux fois la tige en diamètre*, et, depuis, les auteurs ont reproduit le dire de l'illustre Compagnie. Eh bien! de nombreux exemples prouvent que, dans certains orages, des paratonnerres n'ont pas préservé un espace circulaire d'un rayon égal à leur simple hauteur.

On distingue, dans les paratonnerres des édifices à grandes surfaces, les tiges principales et les tiges secon-

daires. Les premières doivent toujours dominer les points principaux, lesquels sont ordinairement en hauteur (pavillons, dômes, campaniles). Pour les secondes, voici les considérations d'après lesquelles il faudra se guider. Quand, dans l'intervalle, il se trouve beaucoup d'objets ayant une saillie notable au-dessus du circuit (comme cheminées, ornements), les tiges secondaires ne devront pas être écartées l'une de l'autre de plus de 25 à 30 mètres. Quand il arrive, au contraire, que dans l'intervalle qui sépare deux tiges principales, le circuit n'est dominé par aucun objet qui ait au-dessus de lui une saillie notable, on pourra sans inconvénient placer les tiges secondaires à 50 ou 60 mètres de distance l'une de l'autre.

Vu l'état trop peu avancé de la science en 1784, 1799 et 1807, on peut considérer comme première instruction sérieuse celle qui fut donnée en 1823 par Gay-Lussac. Cette instruction, rendue sur la demande du Ministre de l'Intérieur, qui se plaignait de la chute trop fréquente de la foudre sur les églises, est restée célèbre dans les fastes de la science; on la nomme même *la fameuse instruction sur les paratonnerres.*

On sait qu'en 1855 les travaux du Louvre étaient en pleine activité, et nécessitèrent l'emploi de masses considérables de fer dans les constructions. Les conseils fournis, en cette année, par l'Académie s'écartent fort peu de la Notice de 1823. Relier toutes les solives des planchers de tous les étages par une tringle, de même que toutes les fermes et tous les chéneaux, de façon que

les tiges secondaires et les tiges principales aient un circuit commun. Enfin, que les aboutissants en terre aient lieu par des tiges à deux ou trois branches plongeant dans des puits qui ne tarissent jamais.

L'instruction de 1867 a été rendue sur la demande du Ministre de la Guerre, pour la préservation des magasins à poudre. Cette instruction est très-longue; une grande partie est consacrée aux prolégomènes de l'électricité atmosphérique. Elle prouve enfin, comme il a été dit, que le paratonnerre à boule est préférable au paratonnerre à pointe. Elle insiste sur l'arrivée du conducteur à la nappe d'eau souterraine ou aux puits qui conservent toujours au moins 50 centimètres d'eau. Enfin le dernier chapitre répond à la question posée. Ici encore, rien de bien nouveau d'acquis à la pratique sur l'instruction de 1823. On ne doit pas, dit celle-ci, poser les paratonnerres sur le magasin, car, au moindre défaut de conductibilité, naîtra une étincelle qui pourra enflammer le pulvérin. C'est par ce motif qu'il serait très-prudent de ne point placer les tiges sûr les bâtiments mêmes, mais bien sur des mâts qui en seraient éloignés de 2 ou 3 mètres. L'instruction nouvelle dit : « Chaque magasin de grande dimension sera entouré de trois paratonnerres, deux près des extrémités de la grande face du mur de clôture, le troisième sur le milieu de la face opposée. Un circuit métallique de ceinture les rendra solidaires; ce seront des tiges de fer noyées dans le sol. Enfin ce circuit ira gagner un puits intarissable par le trajet le plus court, à l'aide de fils conducteurs assez gros qui pourront être

portés en l'air par des perches métalliques ou couchés par terre. »

Enfin, le 2 mars 1868, le Maréchal Vaillant demandait à nouveau à l'Académie des Sciences de se prononcer sur les plans et rapports relatifs aux paratonnerres du Louvre et des Tuileries. L'Académie répondit en résumant ce qui avait été dit en 1855 et en 1867; elle indiqua un *circuit des faîtes* constitué par une barre de fer de 2 centimètres courant sur tout le haut des édifices, circuit se ramifiant à tous les plombs et à toutes les tiges secondaires, et allant enfin aboutir par *douze points*, pour ce circuit de 3 kilomètres de longueur, à douze puits intarissables.

Quelle conclusion tirer de cet aperçu des *connaissances actuelles sur les paratonnerres*? C'est que, depuis l'origine des paratonnerres, la partie technique n'a guère progressé. Quant à la partie théorique, elle est pleine de doutes sur le véritable rôle du paratonnerre, et elle ne dit rien sur son pouvoir efficace pour protéger les édifices de la foudre.

Ces solutions sont du domaine de l'expérience; il est donc urgent de soumettre sérieusement à l'étude expérimentale les grands faits, encore si mystérieux pour nous, de l'*électricité atmosphérique*.

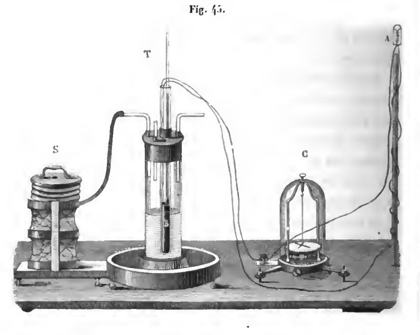
## VIII. — Indicateurs thermo-électriques.

Nous avons dit, en parlant des générateurs thermo-électriques, que la transformation de la chaleur en élec-

tricité n'offrait pas de courants suffisamment intenses pour être appliqués aux lieu et place des courants d'origine chimique. Cependant il existe des applications très-intéressantes pour ces sortes de courants. Nous citerons spécialement le thermomètre électrique et le pyromètre électrique.

*Thermomètre électrique de M. Becquerel.* — Le thermomètre électrique est un véritable indicateur de températures par voie télégraphique. Le circuit (*fig.* 45) est

Fig. 45.




formé par deux fils, cuivre et fer A et B, soudés à leurs extrémités. La soudure B est plongée dans une éprouvette, et à côté d'elle, au sein du mercure, se trouve un

thermomètre de précision divisé en dixièmes de degré : la soudure et la cuvette thermométrique auront donc toujours la même température. On pourra échauffer ou refroidir à volonté ce système à l'aide d'une disposition très-simple. Cette éprouvette est placée dans une autre, qui contient de l'alcool ou de l'éther, dont il sera facile d'abaisser ou d'élever la température au moyen d'un courant d'air ou du rayonnement d'un corps chaud. A côté de cette éprouvette, on trouve, au poste d'observation, un galvanomètre placé dans le circuit *cuivre et fer;* le courant le parcourra donc avant d'influencer la soudure indicatrice B. La soudure A est située à telle ou telle distance dans l'atmosphère, dans l'eau, dans le sol, au point d'investigation. Un même poste peut recevoir plusieurs circuits thermo-électriques concordant à une même série d'observations.

La manœuvre expérimentale est bien simple. Si les soudures A et B sont à la même température, aucun courant électrique ne se développe dans le circuit : l'aiguille du galvanomètre conserve sa position dans le méridien magnétique, autrement dit le *zéro*. Alors, en lisant le thermomètre placé à côté de la soudure B, on a la température du lieu où la soudure A est située. Se produit-il en A une variation de température, l'aiguille du galvanomètre dévie aussitôt, et la sensibilité est telle, qu'un dixième de degré centigrade est aisément appréciable. On voit, d'après le sens du courant, si A est refroidi ou échauffé, et l'on procède de manière à rétablir l'équilibre en refroidissant ou en réchauffant B, et cela en ayant

l'œil fixé sur le galvanomètre; dès que l'aiguille a repris le *zéro*, on est certain que le thermomètre placé près de B marque la température qui est survenue en A. N'est-ce pas là une véritable méthode télégraphique?

Ainsi, au point de vue qui nous intéresse, on peut surveiller la marche de la température dans une serre, un grenier à fourrages, etc. Pour les observations météorologiques, la soudure peut être élevée dans l'air, immergée dans l'eau, plongée en terre, etc.; on a à chaque instant, sans sortir de son cabinet, à $\frac{1}{10}$ de degré près, la température, à un moment donné, du lieu d'observation.

M. Ch. Sainte-Claire Deville a adopté cet intéressant appareil pour suivre la température de l'air, à l'Observatoire de Montsouris dont il est le fondateur et le directeur.

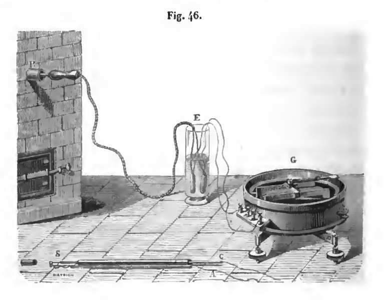
*Pyromètre électrique de M. Edmond Becquerel.* — La méthode thermo-électrique convient merveilleusement pour fournir des indications précises sur l'état calorifique d'un foyer à haute température, tel qu'un foyer d'usine. Toutes les méthodes qui, jusqu'ici, ont été proposées pour mesurer les hautes températures ont dû être rejetées, non-seulement comme étant entachées de causes d'erreur, mais aussi parce qu'elles sont impraticables. On ne pourrait, dans cette circonstance, employer un couple *fer-cuivre* parce que, s'il donne des courants d'intensités régulières pour les variations de température qui surviennent dans l'atmosphère, le sein du globe, des eaux, etc., il n'en est plus de même dans les environs de 400 à 500 degrés. Alors l'intensité du courant commence par

diminuer pour ensuite *changer de sens*. Cette singulière faculté thermo-électrique n'est pas exclusivement propre au couple *fer-cuivre*, on la retrouve pour d'autres accouplements métalliques; la science n'a pas encore expliqué ce phénomène. Il faut donc, d'abord pour cette raison, choisir la nature du couple destiné à fonctionner sous l'influence de hautes températures; mais il faut aussi que les intensités des courants émis croissent proportionnellement aux élévations de température. Les métaux aptes à constituer ces couples ne sont pas nombreux; on a pensé au couple *fer-platine;* mais, entre 500 et 700 degrés, l'intensité du courant ne croît plus que très-faiblement avec la température. M. Ed. Becquerel a trouvé que les conditions exigées par un pyromètre électrique se trouvent le mieux remplies par un couple *platine-palladium*. Non-seulement l'intensité de ce couple est assez grande, mais elle croît, en outre, régulièrement avec la température.

L'installation du pyromètre électrique est des plus pratiques (*fig*. 46). Les deux fils sont reliés par un fil de platine à l'une de leurs extrémités, sur une longueur de 1 centimètre; l'un, *palladium*, passe à travers un tube de porcelaine, de façon à ne pas déterminer d'autre point de jonction entre les deux métaux, et tout le système plonge dans un tube de porcelaine qui, alors, forme *moufle*. Les deux autres extrémités du couple se prolongent suffisamment pour ne pas être influencées par la source de chaleur; on les unit aux fils du circuit, et les points de jonction, qui constituent la seconde sou-

dure du circuit thermo-électrique, sont situés dans un milieu à température constante. Ce serait la glace fondante pour des déterminations rigoureuses; ce sera un

Fig. 46.




bain d'eau, ou le sol à 1 mètre de profondeur pour les observations courantes. Les fils du circuit aboutissent aux pôles d'une boussole dont la graduation est telle, que les degrés de déviation puissent être transformés en degrés de température au moyen d'une Table de rapports établie une fois pour toutes.

L'industrie ne demande pas tant l'estimation absolue de la température d'un foyer que l'indication précise du *moment calorifique* qui correspond à une opération. Le pyromètre électrique de M. Ed. Becquerel satisfait on ne peut mieux à la question. En effet, pour la même

température, l'aiguille de la boussole dévie du même angle sur le cadran. Si l'intensité du courant est trop considérable, c'est-à-dire si l'aiguille est jetée à 90 degrés, pour la température à indiquer, il suffit d'interposer dans le circuit une ou plusieurs bobines de résistance; celles-ci restant toujours identiques comme conductibilité, les observations resteront aussi concordantes. La boussole est placée dans un cabinet, ou dans un endroit organisé pour la préserver de tout danger de trouble. On peut, pour connaître les limites de températures par lesquelles on passe, graduer le cercle de la boussole par rapport à des températures fixes et aisées à vérifier, telles sont celles de la vapeur d'eau, de l'ébullition du mercure, de la fusion du zinc, de l'ébullition du soufre, de celle du zinc, de la fusion de l'argent et de celle du cuivre, dont voici les valeurs en degrés centigrades, d'après le travail de M. Ed. Becquerel :

| | |
|---|---|
| Ébullition de l'eau.......... | 100°,0 |
| Ébullition du mercure....... | 358,5 |
| Fusion du zinc............ | 395,6 |
| Ébullition du soufre......... | 448,2 |
| Ébullition du zinc........... | 891,0 |
| Fusion de l'argent........... | 916,0 |
| Fusion du cuivre............ | 1157,0 |

Les courants thermo-électriques ont joué un rôle important dans l'étude des fonctions organiques des animaux et des végétaux, mais ces questions ne sont pas du cadre de cet Ouvrage.

## CHAPITRE III.

### LES LIGNES.

#### I. — Lignes aériennes.

De prime abord, la question de la *ligne* ou du *circuit* n'apparaît pas à l'esprit avec sa véritable importance. De quoi s'agit-il, en effet? d'établir une communication aussi exacte que possible entre le générateur d'électricité et les appareils. Eh bien, un bon fil métallique suffit. Mais, quelle sera la nature de ce fil? quel sera son diamètre, par rapport à la nature du générateur d'électricité? quelle sera enfin sa disposition, selon qu'il passe dans l'air, dans la terre, ou dans l'eau? Comment, dans chaque cas, s'opposera-t-on à la déperdition de l'électricité?

On doit donc distinguer trois sortes de circuits : *aériens*, *souterrains*, *aquatiques*. Ces derniers n'intéressent notre sujet que très-secondairement; car, ce ne peut être que dans des circonstances très-exceptionnelles que l'électricité, pour les usages que nous considérons, sillonnera un circuit de ce genre. On doit aussi distinguer deux espèces de circuits : à courte et à longue portée. Parmi ces derniers, nous avons à considérer les

lignes de chemins de fer, tant pour le service des télégraphes que pour celui de la transmission de l'heure, ainsi que les lignes urbaines que l'on applique à la même fonction.

On doit rapporter à Schilling la première idée de la construction des lignes télégraphiques aériennes. S. M. l'Empereur de Russie, dit M. Jacobi, ayant examiné avec le plus vif intérêt le télégraphe électrique que Schilling avait établi en 1834 à l'Amirauté de Saint-Pétersbourg, exprima le désir d'avoir une communication de ce genre entre Saint-Pétersbourg et Peterhoff. Une Commission fut nommée et Schilling indiqua comme mode de conductibilité un fil de cuivre recouvert de soie vernie, et il proposa de placer son conducteur sur des perches plantées sur le chemin de Peterhoff. Ces fils, ainsi suspendus, furent trouvés tout simplement *ridicules* par les membres de la Commission. Cette folie a fait le tour du monde.

Le cuivre fut choisi comme conducteur à l'origine, en raison de sa conductibilité qui est environ sept fois plus grande que celle du fer; mais on y a renoncé, pour les lignes aériennes à longue portée, parce que son prix est très-élevé, et qu'il offre moins de sécurité que le fer.

Le fil de cuivre, en effet, ne résiste pas à des tensions un peu fortes; de plus, sous l'influence de l'électricité et celle de l'humidité de l'air, il subit une sorte de trempe qui le rend cassant.

Mais le fil de cuivre reste le meilleur conducteur à

adopter pour les lignes souterraines et pour les lignes aquatiques, puisque alors il est rigoureusement isolé du milieu ambiant et qu'il ne subit aucune tension.

Lorsqu'il s'agit de franchir une distance assez grande, au moyen d'un circuit aérien, on emploie le fer comme conducteur, ainsi que nous venons de le dire. La conductibilité de ce métal pour l'électricité étant moindre que celle du cuivre, il faut nécessairement augmenter le diamètre du fil, d'après cette loi : « la conductibilité est en raison directe du diamètre. » On choisit le fil de 4 millimètres pour les lignes principales, celui de 2 millimètres pour celles secondaires. Depuis deux ans, le Conseil de perfectionnement de l'Administration française des lignes télégraphiques a adopté le diamètre de 5 millimètres pour le fil international, afin de diminuer la résistance de ces longs circuits. Une question technique intéressante se présente : le fil doit-il être recuit ou non recuit? Pour le cuivre, on prend toujours le fil recuit en raison de sa souplesse et de son aptitude à suivre les formes des circuits les plus variés.

Pour le fer, on éprouve de part et d'autre des inconvénients notables. Sous l'influence atmosphérique le fil *recuit* devient dur et cassant et le fil *non recuit*, au contraire, perd sa grande résistance; on emploie l'un ou l'autre, suivant les circonstances.

Le poids de 1 kilomètre de fil de fer de 4 millimètres est de 100 kilogrammes; pour qu'il soit de bonne qualité, il doit résister à une tension de 480 kilogrammes. Le poids du fil de fer de 3 millimètres est de 60 kilo-

grammes par kilomètre et il doit résister à une tension de 370 kilogrammes.

Pour que le fer ne soit pas altéré par l'humidité de l'air, il faut le *galvaniser*, c'est-à-dire le recouvrir d'une couche de zinc.

M. Sorel a montré que le zinc ne protégeait pas seulement le fer en le préservant du contact de l'air, mais par une influence tout électro-chimique. Le zinc étant plus électronégatif que le fer, forme avec lui un couple dont l'effet sur l'eau est de disperser l'hydrogène sur le fer et par suite de s'opposer à son oxydation. Or, il a été reconnu qu'un fil de fer zingué reste protégé même quand la couche de zinc est détériorée et ne recouvre plus que quelques endroits du fil. Le procédé le plus simple pour galvaniser le fer consiste à le plonger dans un bain de zinc fondu, après l'avoir décapé à l'acide chlorhydrique. On passe ensuite le fil à la filière, ce qui accroît l'adhésion entre les deux métaux.

Si l'on emploie le fil de cuivre comme conducteur aérien, il est essentiel qu'il soit bien isolé; le mode d'isolation, adopté généralement pour les fils tendus dans l'intérieur des édifices, consiste à appliquer sur eux deux couches de gutta-percha et à placer par-dessus une couverte de soie ou de coton.

Sur les grandes lignes, les fils restent nus; mais ils reposent sur des isolateurs fixés contre des poteaux.

Les poteaux télégraphiques sont connus de tout le monde; ils sont constitués par des brins de sapin injectés d'une substance conservatrice. L'altération du bois tient

à la présence de matières azotées qui fermentent sous l'action de la chaleur et de l'humidité et agissent sur les autres matières organiques qu'elles décomposent ; elle tient aussi aux vers et aux insectes qui se nourrissent de ces substances, broient les fibres du bois, et désagrégent peu à peu les fibres ligneuses. Le principe général de conservation des poteaux de bois consiste à introduire dans le bois des agents chimiques capables de se substituer aux matières albumineuses, ou de former avec elles un composé insoluble.

Parmi les substances qui ont été essayées sont : le sulfate de cuivre, le sulfate de fer, le chlorure de zinc, le chlorure de fer, le pyrolignite de fer, le chlorure de mercure, la créosote, l'huile de lin,.... En Angleterre et dans quelques autres pays, on emploie la créosote comme agent préservateur ou antiseptique. En France, on préfère le sulfate de cuivre; on suit la méthode d'injection indiquée par M. Boucherie. Un poteau de 10 mètres de hauteur revient à 19$^{f}$,50; celui de 8 mètres à 10$^{f}$,25, enfin celui de 6 mètres à 6$^{f}$,25. On a proposé, dans ces derniers temps, de substituer les poteaux de fer ou de fonte creux, aux poteaux de bois. Mais ces poteaux métalliques ne peuvent guère convenir qu'en qualité de supports de luxe pour les avenues et boulevards de grandes villes où les poteaux de bois feraient mauvaise figure. Chacun sait que le fil ne peut pas toucher le poteau (*à fortiori*, s'il est métallique). Il est supporté par une pièce spéciale qu'on nomme *isolateur;* cette pièce affecte différentes formes, mais il nous suffit

de l'indiquer, nous n'avons pas à entrer dans des détails à ce sujet.

Il a été dit que les fils aériens pour l'intérieur des édifices étaient en cuivre garni de couches de gutta-percha, et de soie ou de coton en dernier ressort. On les emploie pour les sonneries, les tableaux, les horloges, etc. Ces fils peuvent être placés contre les boiseries, fixés avec de petits clous de cuivre autour desquels on les enroule : quand on n'a pas de boiseries sur lesquelles on puisse faire passer le fil, on le place sur de petits isolateurs en os; on enroule le fil sur la gorge de cette petite poulie en le tendant très-fortement; l'isolateur lui-même est fixé sur la muraille au moyen d'un clou à tête. Dans les corridors, les fils peuvent être placés sur des taquets de bois au moyen de petits clous de cuivre; mais le meilleur moyen consiste à les réunir en un seul câble et à les protéger par une couverture de coton de couleur assortie à celle du corridor. Ce câble peut être dissimulé presque complétement; on le fixe au moyen de clous à crochet arrondis qu'on peut avoir la précaution de faire émailler. Si les murs sont très-humides, il convient d'ajouter encore une précaution qui consiste à entourer le câble, sous les crochets qui le fixent, d'une petite bande de gutta-percha.

Afin de dissimuler, soit les fils dans les appartements, soit les câbles dans les corridors, on peut les placer sous des baguettes de bois creusées à cet effet, dont la rigole est tournée vers la muraille; elles peuvent être peintes ou recouvertes de papier semblable à celui de l'apparte-

ment, et peuvent même dans quelques cas concourir à l'ornementation des pièces. Quant au diamètre du fil de cuivre, on peut admettre d'une manière générale celui de 1 millimètre, et 2 millimètres pour les artères principales, sur lesquelles se branchent les fils secondaires pour le service de sonneries et d'horloges multiples.

## II. — Lignes souterraines.

La question des lignes souterraines offre un grand intérêt; car ce mode d'installation des conducteurs s'impose pour ainsi dire, lorsqu'il s'agit de traverser des villes importantes, ou d'assurer le service de grandes administrations, d'usines et fabriques considérables, etc.

Pour les lignes souterraines, le fil ne subit aucune tension. On peut donc employer le cuivre; on a, en outre, un grand intérêt à choisir le métal le meilleur conducteur, car le phénomène de condensation qui se manifeste à la surface de l'enveloppe isolante tend à diminuer notablement la vitesse de transmission de l'électricité. Au lieu de former le conducteur d'un fil unique, on préfère généralement le composer de plusieurs fils de petit diamètre, tordus ensemble de façon à former un cordon : la rupture de l'un des fils n'entraine pas, ainsi, l'interruption complète de la communication. La question la plus importante est nécessairement celle de l'isolement, puisque l'âme du conducteur électrique est, en tous points, en contact avec le *grand réservoir* d'électricité, la terre. Dieu sait quelles peines ont données les premiers câbles

souterrains! C'était à désespérer les électriciens les plus tenaces. On se bornait à recouvrir le conducteur d'un revêtement de coton ou de soie, enduit de quelque substance résineuse, poix, glu marine, etc. Les difficultés auraient été insurmontables, si l'on n'avait eu à sa disposition la *gutta-percha* et le *caoutchouc*, substances trop bien connues pour que nous revenions sur leur provenance et sur leurs caractères chimiques.

La préparation du fil à la gutta-percha se fait en introduisant la matière dans un gros cylindre métallique, qu'on chauffe à la vapeur jusqu'à ce qu'elle devienne à demi fluide; on la presse fortement à l'aide d'un piston qui la force à s'écouler par un petit tube que traverse le fil métallique. La matière se refroidit et s'attache au fil, qu'on tire d'un mouvement uniforme. Le fil recouvert de gutta-percha se fabrique par bouts de 1 à 2 kilomètres de longueur. Pour assembler les bouts, on dénude de chaque côté le conducteur sur une longueur de 10 à 15 centimètres; on soude les fils de cuivre et l'on garnit le point de jonction d'un ruban de gutta-percha qu'on amène ensuite à fusion. On a essayé, à un moment, de vulcaniser la gutta-percha par l'addition de $\frac{1}{4}$ pour 100 de soufre; on espérait ainsi accroître son pouvoir isolant; mais le soufre attaque le cuivre, et la couche isolante s'altère encore plus rapidement.

Le caoutchouc a un pouvoir isolant supérieur à celui de la gutta-percha; il se conserve très-bien dans l'eau; mais, à l'air, il absorbe l'oxygène pour constituer une ésine blanche; le fil se dépouille alors très-vite. Les fils

souterrains, ainsi garnis, ont donc donné de très-mauvais résultats quant à leur durée. Mais, s'il s'agissait de traverser une rivière, une nappe d'eau quelconque, on pourrait recourir à ce mode d'isolation. On a, depuis quelques années, combiné plusieurs *magmas* propres à servir de couches isolantes. Les principaux sont les compositions *Chatterton*, *Wray*, *Godefroy* et *Radcliff*.

Le *Chatterton compound* est un mélange en proportion convenable de gutta-percha et de goudron de Stockholm, qui devient fluide à une faible élévation de température et durcit à froid. Il ne pourrait être employé seul: mais on l'applique entre les couches de gutta-percha, dont il facilite l'adhérence. Il pénètre les pores de la gutta, la rend imperméable à l'eau et en améliore l'isolement. Il se ramollit à une faible température, et son emploi dans les pays chauds offrirait peut-être des inconvénients.

La composition *Wray* contient de la gutta-percha, du caoutchouc, de la gomme laque et de la silice en poudre ou de l'alumine. La silice augmente la dureté de la matière, et la gutta sa ténacité; en faisant varier la proportion des matières employées, on peut augmenter la résistance aux dépens de l'isolement, et réciproquement. Cette matière, qui peut devenir plastique, s'applique sur les fils comme la gutta-percha, et résiste à une température élevée; elle est extrêmement dure et solide et paraît susceptible de se conserver indéfiniment. Elle est surtout remarquable par son pouvoir isolant, qui est de beaucoup supérieur à celui de la gutta-percha.

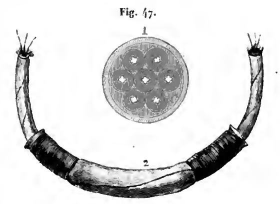
La *composition Godefroy* est un mélange de 70 parties de gutta, 10 de caoutchouc, 20 de noix de cocos pulvérisées. Celle de *Radcliff* renferme de la gutta et du charbon.

Les premières lignes souterraines ont été établies vers 1845, au moyen de fils de cuivre recouverts de caoutchouc; mais elles furent rapidement mises hors de service par suite de l'altération du caoutchouc. De 1848 à 1852, on construisit beaucoup de lignes souterraines avec des fils recouverts de gutta-percha dans les principales villes de France, en Prusse, en Angleterre, le long des routes ou des voies ferrées. L'isolement des conducteurs était à peu près détruit au bout de trois ans à peine.

Actuellement, pour Paris, dont les égouts sont établis avec un si grand luxe de construction, les câbles souterrains, constitués par des fils de cuivre isolés à l'aide de la meilleure composition, puis garnis d'une couverture de chanvre, passent dans des gaînes de plomb qui filent le long des murs de l'égout. La *fig.* 47, n° 1, représente le câble qui fait la traversée des égouts de Paris. Depuis l'adoption de ce système, qui remonte à plusieurs années, toutes les lignes télégraphiques deviennent souterraines à l'entrée de Paris, et ce vaste réseau n'a plus subi aucun arrêt dans sa conductibilité. A l'entrée de toutes les villes, on a intérêt à faire *entrer en terre* la ligne télégraphique; les circuits qui desservent les horloges électriques de la ville doivent aussi être souterrains. On ne peut que très-rarement prendre circuit dans les égouts,

qui, du reste, sont loin d'être partout aussi hospitaliers qu'à Paris.

Fig. 47.




On a proposé d'établir des lignes souterraines en employant le bitume comme agent de préservation, et alors le fil de fer de 4 millimètres comme conducteur. Les essais qui ont été faits, en 1855 et en 1856, ont montré que le procédé était susceptible d'être pris en considération, mais les premières lignes perdirent rapidement leur conductibilité parce que, dans les points exposés aux fuites de gaz, le bitume se ramollissait.

Depuis 1860, les lignes souterraines, en France, se font uniquement avec des câbles, du modèle de la *fig*. 47, n° 1, placés en nombre suffisant dans une large conduite de fonte dont les joints sont hermétiquement fermés avec du plomb. Tous ces câbles, grâce aux regards établis de distance en distance, sont libres à l'intérieur de la conduite, et on peut aisément les remplacer par fraction quand leur isolement fait défaut.

M. Jaloureau est inventeur d'un système de tuyaux de

papier bitumé qui sont d'une solidité extrême, et tellement imperméables, qu'on les emploie comme conduites d'eau. Cet ingénieux industriel a cherché, depuis plusieurs années, à simplifier la question des câbles souterrains, et il nous a été donné d'expérimenter le dernier modèle qu'il a proposé. L'auteur emploie le bitume comme principe isolant, et il revêt l'âme du câble de couches alternatives de bitume et de papier; il peut ainsi obtenir un isolement rigoureux; c'est ce que la pratique a, du reste, démontré. L'avantage de ce système est non-seulement dans l'isolement parfait du câble, mais encore dans son économie de construction.

### III. — Télégraphie militaire.

La *télégraphie militaire* est de création toute nouvelle; elle date de la guerre d'Italie pendant laquelle on songea à organiser un service télégraphique pour les armées en campagne. La question à résoudre présentait quelques difficultés pratiques. Il s'agissait, un camp posé, ou une armée disposée en ligne de bataille, d'établir une communication télégraphique entre les chefs de corps et le Commandant en chef, ce dernier étant, en outre, en relation avec le réseau de l'État, pour communiquer au besoin avec le Gouvernement. La télégraphie électrique joua donc un rôle important dans cette guerre mémorable, chez nous comme chez nos adversaires. Mais, des deux côtés, le service laissa à désirer, parce que, de part et d'autre, c'était une innovation. Tout était impar-

fait : l'organisation du personnel, le matériel, la construction des lignes.

Actuellement le service est complétement organisé. Tout était à créer. Il fallait une source d'électricité pratique, c'est-à-dire incapable de faire défaut, aisément transportable et n'exigeant aucun entretien. Cette première question a été résolue par le manipulateur magnéto-électrique oscillant établi par MM. Digney, d'après l'hélice magnétisante de Siemens. Le récepteur Morse devait être combiné de façon à fonctionner sous l'influence de ces courants induits alternatifs. On a vu Ch. II, p. 88, comment MM. Digney ont organisé leur appareil enregistreur des signaux Morse pour satisfaire à la question.

Il fallait enfin un système de conducteur qui formât câble et qui pût être filé sur le sol sans perdre le courant; il devait aussi être capable de résister aux accidents de choc et de foulement inévitables en telles circonstances. La *fig.* 47, n° 2, p. 142, représente la constitution de ce câble. Il se compose de quatre fils de cuivre juxtaposés, recouverts par une enveloppe de gutta-percha, entourée elle-même d'étoupe cordée; le tout est recouvert par une toile goudronnée; l'ensemble forme un cordon de quelques millimètres de diamètre, très-flexible, et pouvant suivre facilement toutes les ondulations du terrain.

Toutes ces conditions remplies, restait la question technique, la formation de la ligne, son retrait, l'organisation du service et la manœuvre. Les expériences faites cette année au camp de Châlons ont été concluantes.

Une voiture télégraphique, signalée par un petit drapeau bleu, sur laquelle est la lettre T peinte en blanc, suit les mouvements de la division. Elle se place habituellement derrière un bataillon central de la dernière ligne, quelquefois entre la première et la seconde ligne, mais toujours dans une position abritée du feu de l'ennemi. Le fil télégraphique s'enroule sur des bobines placées dans l'intérieur de la voiture; chaque bobine enroule un kilomètre de fil, et quatre bobines sont installées dans le compartiment qui leur est affecté. Une voiture qui suit a dix bobines de rechange. La soudure des fils s'effectue presque sans arrêt au moyen de pièces en cuivre. Des soldats suivent la voiture pour le dévidage des bobines; ils ont des pelles et des pioches et ils enterrent les fils au besoin, près des routes sur lesquelles le circuit pourrait être coupé par le passage des voitures. La voiture télégraphique divisionnaire a deux compartiments. Sur le devant se place un sous-officier qui est à portée des appareils électriques.

L'expérience a prouvé qu'on pouvait, assez promptement, dresser des hommes intelligents pour ce service.

Le service d'instruction du corps télégraphique militaire était originairement organisé à l'Administration centrale des lignes télégraphiques. Les ingénieurs n'ont eu généralement qu'à se féliciter de la rapidité avec laquelle s'est conduite l'instruction des sujets qui leur ont été adressés. Actuellement, l'instruction est donnée par les chefs du service militaire.

Il est parfaitement inutile d'insister sur la valeur et

le nombre des services que la télégraphie électrique est apte à rendre à l'armée en campagne. Mais ce mode de *télégraphie électrique volante* est susceptible d'autres applications. Elle est appelée à rendre service lors de l'exécution de grands travaux sur le terrain (arpentage, nivellement, géodésie, tracés de routes, de canaux, etc.). Nous préférons certainement voir l'attention se porter sur ces nombreux côtés de la question que sur celui qui aide à la destruction des hommes par les hommes. Il est bien entendu qu'aux appareils à signaux Morse il sera toujours aisé de substituer les appareils à cadran, puisque nous avons dit comment ils étaient devenus susceptibles de fonctionner sous l'influence des courants d'origine magnéto-électrique.

### IV. — Conductibilité de la terre.

Quand il s'agit d'un circuit quelque peu considérable, on emploie la terre comme fil de retour. A cet effet, l'un des pôles de la pile et l'extrémité libre de la ligne sont mis en communication avec la terre par de larges plaques de cuivre, qui plongent aussi profondément que possible dans des puits ou dans la partie du sol la plus humide qui se présente.

Pour les lignes de peu d'étendue, on pourra opérer de la manière suivante : forer le sol à $1^{m},50$ ou 2 mètres de profondeur, pratiquer l'ouverture pour un parallélépipède de 20 centimètres de longueur environ, et employer une lame de charbon de cornue de 1 centimètre

d'épaisseur sur 15 à 16 de large et autant de hauteur; la communication sera établie par une tige de cuivre qu'une couche isolante protégera contre l'oxydation. On entourera exactement cette lame de charbon de cornue concassé en grains fins, et le tout sera humecté d'eau. On aura toujours intérêt à faire *retour par la terre*, quand, ainsi que pour les grandes usines, on aura du terrain à franchir pour passer d'un bâtiment à un autre. Tant qu'on restera dans l'intérieur d'un bâtiment, il est bien entendu que le circuit doit être aérien ou souterrain, mais à double fil.

La transmission de l'électricité par la terre avait déjà été obtenue par un grand nombre de physiciens; mais Steinheil est le premier qui ait constaté ce fait en vue de l'application de l'électricité dynamique à la télégraphie. Cette découverte s'adjoignait à celle du télégraphe électrique lui-même, de façon à rendre l'année 1837 immortelle à jamais dans les fastes de la science. Le conducteur du télégraphe construit à Munich, en 1837, était formé d'un fil de cuivre terminé à ses deux extrémités par deux plaques de cuivre enfoncées dans la terre; le courant traversait cette distance (de 13 kilomètres) avec d'autant plus de facilité qu'on augmentait davantage la surface des plaques enterrées. Immédiatement, le *retour par la terre* fut un fait admis par voie de démonstration. Mais on ne s'entend guère encore sur le côté théorique de la question. Le fait le plus clair qui ressort de toutes les discussions, et qui nous intéresse surtout, c'est la conductibilité parfaite du sol, sa *non-résistance absolue.*

M. Breguet a fait cette expérience. Une pile étant à Paris, l'un de ses pôles communiquait avec la terre au moyen d'un fil terminé par une large plaque plongée dans un puits; l'autre pôle communiquait avec le fil de la ligne aboutissant à Rennes et plongeait de même dans un puits : ainsi, dans ce cas, le circuit était fermé moitié par la terre et moitié par le fil. On se procurait aussi à volonté un circuit tout métallique avec des fils de cuivre. Des opérations semblables étaient faites à Rennes, où se trouvait également une pile. Au moyen de deux boussoles de sinus, M. Breguet mesurait l'intensité du courant à Paris et à Rennes, quand un courant traversait le fil de cuivre et la terre, ou les deux fils de cuivre réunis. L'intensité du courant est *doublée* quand la terre remplace le second fil de cuivre. Sa résistance est donc égale à zéro. Matteucci a fait de très-nombreuses recherches sur l'*électricité terrestre*, et il a toujours été conduit à reconnaitre la conductibilité parfaite du sol.

Mais, comment expliquer que les courants partant de sources différentes d'électricité retournent à ces sources sans aucune perturbation, c'est-à-dire que A, B, C étant des couples placés à côté l'un de l'autre, le courant A ne soit nullement troublé par ceux de B, de C, et réciproquement? Comment expliquer, en termes familiers, que le courant de chacune des nombreuses piles qui alimentent les réseaux télégraphiques ne se trompe pas de domicile? On a voulu expliquer ce phénomène par une succession d'effets électro-chimiques se propageant dans le sol d'un pôle à l'autre de chaque générateur d'électri-

cité. Cette raison est d'autant plus inadmissible, selon nous, que les courants d'origine magnéto-électrique sont dénués presque totalement de la faculté électro-chimique.

M. de la Rive, s'appuyant sur des expériences dues à Faraday et à Wheatstone, s'explique ainsi : Le rôle de la terre est celui d'un vaste réservoir, d'une espèce de puisard qui suce et absorbe, aux deux extrémités du fil, les électricités libres que le générateur y envoie. Par cela même que cette électricité se perd ou s'écoule, il y a un mouvement électrique, et, par conséquent, production d'un courant. M. Magrini, dans des expériences faites avec de longs fils télégraphiques bien isolés, tendus de Milan à Monza, avait montré qu'on pouvait obtenir un courant électrique dans un fil dont une des extrémités seulement communiquait avec une source d'électricité, tandis que l'autre restait isolée. On pouvait, il est vrai, craindre dans ce mode d'opérer quelque défaut d'isolement. Cette crainte disparaît complétement dans les expériences de Faraday et de Wheatstone : ces dernières, en particulier, montrent clairement qu'il suffit de faire communiquer avec l'un des pôles d'une pile l'extrémité d'un conducteur d'une très-grande dimension, dont l'autre extrémité est isolée, pour que ce conducteur, en se chargeant, soit traversé par un courant dont la présence est accusée par la déviation d'un galvanomètre. Le même phénomène se passe avec la terre, avec cette différence que le globe terrestre étant un conducteur d'une dimension infinie, le courant peut durer tant que la communication du pôle avec le sol a lieu.

Le rôle que joue la terre dans la transmission télégraphique est donc d'accord avec un très-grand nombre de phénomènes du même genre, qui nous ont démontré que la propagation de l'électricité, et par conséquent la production d'un courant électrique, peut avoir lieu dans un corps conducteur aussi bien quand ce corps est mis en communication avec un autre, chargé d'un excès de l'une des deux électricités seulement, que quand il se trouve placé entre deux excès d'électricités contraires.

# CHAPITRE IV.

## L'ÉLECTRICITÉ APPLIQUÉE A LA MARINE.

### I. — Correspondance télégraphique a bord.

Si la rapidité de communication, la *relation instantanée* est chose utile, c'est bien surtout à bord d'un navire, où la sûreté générale dépend exclusivement de l'entente parfaite qui existera entre les chefs des différents services et le commandant du navire.

Chacun sait qu'un vaisseau de l'époque actuelle est absolument différent d'un vaisseau d'il y a quelque vingt ans. Non-seulement la vapeur a éliminé le *système à voiles*, mais le mode d'aménagement du bord a varié du tout au tout, tant pour les paquebots du commerce que pour les bâtiments de guerre.

Loin de nous la pensée de discuter ce qui a été fait de bien ou de mal sous les inspirations de M. Dupuy de Lôme. Nous ne pouvons que gémir sur les efforts absorbants qui ont eu pour but exclusif de construire le meilleur vaisseau cuirassé, le plus efficace monstre destructeur qui ait jamais sillonné les mers. L'Exposition maritime anglaise de l'an passé était vraiment désolante, si on la considérait au point de vue de l'avenir des relations maritimes internationales. Épaisseurs de cuirasses,

trouées ou non trouées; canons de diverses rayures; boulets; bombes explosives; torpilles; éperons, etc. Et, pour parfaire, instruments chirurgicaux inventés spécialement pour l'extraction des nouveaux projectiles. Que de millions dépensés pour s'effrayer mutuellement! Si enfin cette orgie pécuniaire aboutissait au suprême mépris de la guerre! alors nous y applaudirions des deux mains. Mais la sagesse n'a pas été donnée en partage à l'homme, il faut la chercher chez les animaux d'ordre inférieur.

Il nous est revenu cependant ce dire consolant que nos officiers de marine étaient loin de partager l'esprit destructeur qui inspire leurs chefs suprêmes. Ils pensent, comme nous, que la marine rendrait de très-grands services à la science avec une portion minime de l'or qu'elle a englouti en pure perte. Tout ne sera donc pas perdu, si l'image d'une guerre barbare en préparation détruit définitivement chez nous l'ancien charme qui dominait les chevaliers des temps anciens. D'ici à peu de temps, il faut espérer qu'on ne votera des millions que pour la construction et l'aménagement de vaisseaux destinés au service du commerce, de l'industrie et aux expéditions scientifiques. Mais, revenons à notre sujet.

A bord, il faut qu'il existe une communication très-rigoureuse entre l'officier de quart, le mécanicien et le timonier : car une erreur d'entente entre ces trois personnes compromet le salut du navire. La communication s'établit actuellement au moyen de signaux acoustiques, ou de gestes, qui sont sujets à être perdus ou à

être mal interprétés dans les circonstances graves où l'entente est surtout précieuse. Il faudrait donc établir une ligne télégraphique reliant électriquement la cabine du capitaine, le banc de quart, la machine et le banc du timonier. Trois conditions sont à considérer : la *source d'électricité;* les *appareils;* la *combinaison des signaux*, autrement dit le *langage télégraphique du bord*.

La source d'électricité peut-elle être la pile? c'est bien le cas où il faudrait pouvoir recourir à la *pile sèche*, si elle existait; car l'installation de couples à éléments liquides à bord d'un navire ne laissera toujours que d'être chose peu commode. Dès que le liquide jaillira sur les conducteurs, les substances salines cristalliseront par suite de l'évaporation du liquide.... alors s'effectuera le transport connu en physique sous le nom de *voyage des sels*, les couples s'encrasseront de matière saline, laquelle interrompra la conductibilité électrique de la pile en tout ou en partie. On a bien imaginé des réceptacles de piles à suspension, pour obvier aux inconvénients du roulis et du tangage; mais, jusqu'ici, les quelques expériences qui ont été faites n'ont abouti qu'à prouver que la pile n'est pas un engin électrique capable d'être embarqué à bord d'un navire. Le générateur d'électricité qui résout la question le plus parfaitement est le générateur magnéto-électrique; il se prête à toutes les applications à faible ou à haute intensité, sous les formes les plus variées. Nous n'avons plus à revenir sur la constitution de ce merveilleux appareil dont nous avons décrit les principaux modes d'emploi; il nous

importe seulement d'indiquer les rôles qui lui incombent pour le service maritime. La première question qui nous occupe est l'installation d'un service télégraphique entre les principaux postes du navire.

Nous avons vu (p. 81) comment il était possible d'animer, par voie magnéto-électrique, une aiguille indicatrice d'un mouvement circulaire sur un cadran. Nous avons reconnu qu'un générateur de cette nature ne pouvait *perdre* de son intensité, car les aimants regagnent, lors de la fonction, ce qu'ils perdent au repos. En outre, pour un circuit aussi limité que l'est celui d'un navire, même de premier ordre, il n'est besoin de recourir qu'à un appareil de la dimension la plus minime. Le manipulateur rotatif, système Siemens, construit par MM. Digney, et propre au service dont il s'agit, aura les dimensions suivantes :

| | |
|---|---|
| Diamètre du cercle...... | 25 centimètres. |
| Hauteur de l'hélice...... | 30 » |

Le récepteur à cadran, en tout semblable à celui qui est représenté (*fig.* 33, p. 86), contiendra sur une première circonférence les lettres de l'alphabet pour la correspondance courante, sur une deuxième des chiffres pour les commandements secrets, et sur une troisième, en abrégé, les indications spéciales pour le service de la barre, de la machine et du banc de quart. Pour distinguer chacun de ces systèmes de correspondance, on conviendra d'un appel de sonnerie préalable : un coup pour le cercle de correspondance courante; deux coups pour

celui des chiffres; trois coups enfin pour le cercle des commandements.

Bien entendu, ce mode de télégraphie n'est même pas en question à l'Administration de la marine, nous ne faisons que l'indiquer *motu proprio*. On pourra objecter, comme critique, la complication du langage des chiffres; ce mode de correspondance sera cependant précieux, en temps de guerre, car l'équipage sera mis totalement en dehors des communications de l'État-major; et, lors du combat, elles ne seront pas couvertes par le bruit du canon.

La sonnerie électrique a sa place marquée tant à bord du navire de guerre, que sur le paquebot. Un vaisseau est un hôtel flottant, les mêmes installations électriques doivent s'y trouver, sauf toutefois le service de l'horlogerie qui ne peut se passer de l'intervention de la pile. Pour les sonneries et les appareils du même ordre, on emploiera très-avantageusement les *clefs* ou manipulateurs magnéto-électriques oscillants, tels que ceux qui ont été indiqués pour la télégraphie militaire. On pourra aisément en réduire les dimensions pour cette application spéciale.

## II. — Conservation des carènes et des cuirasses de navires.

De tous temps, le corps maritime s'est préoccupé de la détérioration de la carène des navires. Chacun le sait, c'est toujours par le fond que les navires périssent. Deux causes principales concourent à cette destruction : l'action

de la mer sur le métal qui constitue la carène elle-même; le dépôt de coquilles et de plantes marines auquel s'ajoutent certains rongeurs d'origine marine qui, avec le temps, causent les plus grands dommages. Les amas de coquilles, de plantes, etc., retardent la marche du navire et contribuent à l'altération de la carène; il arrive même que les dépôts de certaines coquilles qui s'effectuent sur des carènes en bois sont si durs, qu'il n'est pas possible de les en détacher. Cet effet se fait surtout remarquer dans les mers tropicales; dans la mer Noire, les tarets s'ajoutent aux éléments inorganiques et détruisent une carène en très-peu de jours. Ce fléau se produit surtout dans les mélanges d'eau douce et d'eau salée; les bouches du Dnieper et le port de Sébastopol en sont infestés.

On a doublé les carènes pour parer aux inconvénients relatifs à ces dépôts; mais alors est survenue la question de la conservation du métal qui constitue le doublage. Le cuivre, métal sur lequel l'attention dut se fixer naturellement, se conduisit d'une façon fort différente, selon sa nature, c'est-à-dire selon son degré de pureté. Les résultats qui ressortirent de nombreux travaux furent essentiellement contradictoires; les uns voulaient employer du cuivre le plus pur possible; les autres du cuivre impur contenant du zinc, du fer, de l'étain en plus ou moins grande proportion. Un fait indiscutable est que l'altération du cuivre à la mer est le résultat d'une action électro-chimique. Or cette action ne peut provenir que de l'accouplement des métaux étrangers qui se trouvent *mêlés* dans la masse métallique immergée

dans l'eau salée. Les cuivres impurs altérés à la mer conservent souvent une assez forte épaisseur sur certains points de leur surface, tandis que, dans d'autres parties, des trous multipliés, des rainures curvilignes, de larges surfaces accusent des actions électriques correspondant par leurs différences d'énergie avec les différences de composition des couples voltaïques.

Dans une lecture faite à la Société Royale, le 22 janvier 1824, l'illustre Davy annonçait que la rapide altération du doublage en cuivre des vaisseaux de guerre et l'incertitude du temps de leur durée avaient attiré particulièrement l'attention des lords de l'Amirauté qui l'engagèrent à s'occuper des moyens de préservation de ce doublage. Davy entreprit une série de recherches qui le conduisirent à la découverte d'un principe important, d'après lequel, en rendant électronégatif un métal qui est électropositif dans l'eau de la mer, on le préserve de toute altération, entre certaines limites toutefois. Mais Davy admettait la théorie du contact, émise par Volta, il ne pouvait donc tirer de son idée tout le parti possible. Cependant le savant anglais signala ce fait remarquable « qu'un morceau de zinc gros comme un pois ou la pointe d'un petit clou de fer était tout à fait suffisant pour conserver 40 ou 50 pouces carrés anglais de cuivre, en quelque endroit qu'il fût placé ; et qu'un petit morceau de zinc ayant été fixé au haut d'un morceau de cuivre et un morceau de fer beaucoup plus gros au bas, le tout mis dans l'eau de mer, non-seulement le cuivre fut préservé des deux côtés, mais il en fut de même du fer

qui, après une quinzaine de jours, avait conservé son brillant ainsi que l'autre métal. Il en conclut aussitôt que de petites quantités de zinc, de fer ou de fonte placées en contact avec le doublage en cuivre des vaisseaux empêchaient sa corrosion. Des expériences furent faites en grand; mais, en raison même de la fausse théorie sur laquelle l'auteur s'appuyait, il devait échouer contre des difficultés de principe. Le résultat certain qui fut observé, c'est que, le cuivre devenant éminemment négatif, ce caractère favorisait le dépôt des corps marins et l'encroûtement de matières salines : la préservation du doublage en cuivre nuisait encore plus à la marche du navire.

Plus tard on pensa à substituer au cuivre du doublage un bronze composé de 94 parties de cuivre pour 6 parties d'étain. Les molécules de cet alliage pouvaient être considérées comme autant de petits couples voltaïques qui devaient conserver le cuivre; et, d'un autre côté, la force de cohésion étant plus grande que celle du cuivre, il en résulterait que le bronze devait être moins promptement altéré que le cuivre dans l'eau de mer. Mais une question qui avait été écartée dans l'expérience électrique se souleva au moment de l'application, celle du laminage d'un métal trop dur et trop fragile. Un ingénieur, M. Francfort, parvint à vaincre cette difficulté, et des essais officiels furent entrepris par le Génie maritime. Ces expériences ont conduit aux résultats suivants. Les pertes éprouvées par le cuivre et par le bronze, soit à la mer, soit en repos, sont entre elles dans le rapport

2,15:1; le dépérissement des feuilles qui s'usent le plus est dans le rapport 3:1; l'examen des carènes, sous le rapport de l'attache des coquilles, n'a signalé aucun désavantage pour le bronze; enfin le bronze, à égalité de propreté des deux bords, présente sur le cuivre l'avantage d'une surface plus lisse et plus unie.

Il résulte d'autres expériences dues à M. Bobierre, que les alliages de cuivre et d'étain dans lesquels l'élément positif, l'étain, entre à la dose de 5 à 6 pour 100 constituent les doublages de plus longue durée. Le doublage en bronze se charge plus de dépôts cohérents que le doublage en cuivre. La présence de l'arsenic dans le métal n'est pas incompatible avec la préservation du bronze à la mer.

Quant au doublage en laiton, M. Bobierre a trouvé que les alliages de cuivre et de zinc peuvent, suivant leur composition, se dissoudre uniformément en conservant leurs propriétés physiques ou chimiques, ou bien se transformer en éponge de cuivre, qui passe facilement à l'état d'oxychlorure, à raison de l'extrême division des parties. Le laiton qui éprouve ce genre de décomposition est celui qui contient 40 pour 100 de zinc : il est laminable à chaud. Les laitons qui présentent le plus d'avantages dans leur emploi pour le doublage des navires sont ceux qui contiennent 34 pour 100 de zinc. Ces observations contrôlent celles que nous avons faites sur les capacités électriques des alliages, lesquelles nous avaient conduit à cette conclusion : « Un alliage défini a une capacité électrique qui lui est propre, c'est-à-dire

qu'il se conduit comme un élément défini positif ou négatif; un mélange de métaux change à chaque instant de nom *électrique*, selon que l'un des éléments s'attaque plus ou moins. »

C'est ce qui nous avait fait dire, alors, qu'il serait possible de trouver un alliage dont la force électromotrice serait plus considérable que celle du zinc. A moins de découvrir un métal usuel, c'est le seul progrès possible à apporter à la question de la pile.

Dans son travail, M. Becquerel père s'occupe exclusivement de ce système de vaisseaux cuirassés : vaisseaux en bois dont la carène est doublée en cuivre et dont les sabords, depuis 2 mètres environ au-dessous de la ligne de flottaison jusqu'à 5 mètres au-dessus, sont revêtus extérieurement de plaques de fer formées chacune de lames de tôle soudées les unes aux autres, ayant une épaisseur de 12 à 15 centimètres.

Le but essentiel que l'éminent physicien s'est proposé dans ses recherches est de fixer les limites suivant lesquelles les métaux cuivre et fer peuvent être préservés dans l'eau de mer par un métal plus oxydable qu'eux, tel que le zinc.

Étudiant d'abord les forces électromotrices des métaux et des alliages mis en présence de l'eau de mer, il a reconnu que le zinc est, de tous les métaux usuels, le plus attaqué; viennent ensuite, le fer zingué, le fer. Plus le fer est doux, plus la force électromotrice augmente dans l'eau de mer, par conséquent plus l'altération est grande. Du moment que le métal est oxydé, sa

force électromotrice augmente; il faut aussi tenir compte de l'état moléculaire du métal.

M. Becquerel a déterminé, dans le port de Toulon, les forces électromotrices des métaux et alliages qui entrent dans la construction des cuirasses de navires, comparativement à celle du zinc; il a trouvé les relations suivantes :

| | Force électromotrice. |
|---|---|
| Zinc | 100,00 |
| Tôle | 58,70 |
| Fer des plaques | 54,10 |
| Peroxyde de plomb | 52,10 |
| Cuivre | 24,80 |

M. Becquerel s'est attaché ensuite à la partie la plus importante de la question, savoir : quelle étendue de surface de fer ou de cuivre peut protéger une lame de zinc de dimensions déterminées. Cette étendue dépend de la distance à laquelle la force électromotrice du zinc reste supérieure à celle de la cuirasse métallique plongée dans l'eau de mer.

D'après les résultats obtenus dans le port de Toulon, l'état négatif d'une lame de cuivre de 10 mètres de longueur et de $0^m,24$ de largeur se maintient en tous ses points, lorsqu'elle est protégée par une surface de zinc de 240 centimètres carrés. Mais il est nécessaire d'entretenir l'armure de zinc dans un état de grande netteté métallique, car l'oxydation et le dépôt d'oxychlorure de zinc qui s'y produit lui font perdre

un tiers environ de sa puissance protectrice. On a opéré de même pour le fer, et la conclusion des expériences est que : une surface de zinc de 4 millimètres est capable de garantir une surface de fer de 2850 centimètres carrés.

En résumé, il résulte des expériences de M. Becquerel, que, deux métaux étant plongés dans le même milieu actif, la limite d'action du métal protecteur est fixée à la distance à laquelle ce dernier atteint une force électromotrice égale à celle du métal protégé. De ce principe général, il ressort que l'on protégera de la même manière les métaux immergés dans l'eau douce, et aussi les métaux exposés à l'air et pour lesquels on redoute son action oxydante. Prenons, pour exemple de ce dernier cas, une pile de boulets, ayant une base carrée de 30 boulets de 6. Cette base contiendra donc 900 boulets de 12 centimètres de diamètre. La pyramide contiendra 9387 boulets; or la base formera un carré de $3^{m},60$ de côté, et la pyramide aura $3^{m},12$ de hauteur. Chaque boulet ayant une surface de 432 centimètres carrés, les 9387 boulets en présenteraient une de $405^{mq},54$. En admettant qu'il faille $\frac{1}{100}$ de zinc pour les protéger, il en faudrait donc 4 mètres carrés; 2 mètres suffiraient même pour la protection de la pyramide ayant quatre faces égales. On armerait chacune d'elles d'une plaque de zinc de 50 décimètres carrés, au moyen de vis, sur 2 ou 3 boulets, à une distance telle du niveau de l'eau, que l'on puisse les nettoyer, et les gratter au besoin, s'il est nécessaire.

A l'époque actuelle où le fer et la fonte forment la base de toutes les constructions, on ne saurait trop insister sur l'importance de ce fait d'électro-chimie.

### III. — Boussole Ritchie.

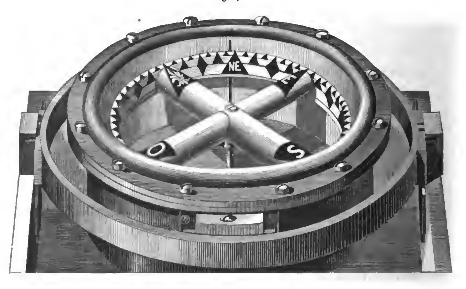
Les principaux inconvénients communs aux divers systèmes de compas de mer consistent : 1° dans la pression trop grande qu'exerce sur le pivot le système de l'aiguille et du cercle; 2° dans la résistance que les frottements opposent à l'action directrice; 3° dans la non-neutralisation du roulis par l'insuffisance du mode de suspension dit *à la Cardan*. Ces conditions fâcheuses ont été étudiées d'une manière très-approfondie par M. Ritchie, qui les a éliminées, autant que possible.

Il fallait non-seulement alléger le système magnétique de l'appareil, mais ne le faire appuyer sur le pivot que l'appoint nécessaire à la composante active de la force directrice terrestre; en outre, il fallait annihiler entièrement les effets de déviation brusque dus au roulis et au tangage du navire, au jeu de la machine, aux coups de canon, etc. Le problème étant ainsi posé, voici quelle solution M. Ritchie en donne.

La *fig.* 48 représente la nouvelle boussole telle que M. J. Duboscq la construit. L'aiguille aimantée est renfermée dans un cylindre métallique à minces parois, muni de branches latérales également cylindriques : autour de ces branches, et supporté par elles, se trouve un cercle portant les divisions ordinaires du compas

marin. La partie métallique est noyée dans un liquide, et son poids se trouve presque équilibré par la poussée

Fig. 48.




de ce liquide; en sorte que le système magnétique n'appuie que de quelques milligrammes sur son pivot. On conçoit dès lors le rôle des branches latérales gonflées d'air : elles remplissent la fonction de flotteurs, afin que l'on puisse donner à l'aimant et au cercle la dimension et l'épaisseur nécessaires. Ainsi se trouve remplie la première condition. Le système magnétique ne fait pas pression sur le pivot; celui-ci et la chape de l'aiguille sont donc préservés, condition *sine quâ non* du fonctionnement continu d'une boussole.

Mais le liquide joue un autre rôle, en vertu duquel il résout la seconde condition. Le système magnétique étant

presque de même poids que le liquide, et ce système étant totalement immergé (le cercle indicateur est enduit d'une matière inattaquable par ce liquide), aucun choc provenant du roulis du navire, ou de toute autre cause, ne parvient à l'aiguille, car il s'amortit en quelque sorte dans la masse liquide. Il en est de même des vibrations continuelles qu'imprime d'ordinaire la marche de la machine du navire aux aiguilles des boussoles usitées jusqu'ici. Reste encore à prévenir l'influence des variations de la température atmosphérique qui auraient pour effets la dilatation et la condensation du liquide : d'où s'ensuivrait la variation dans la pression du système magnétique sur le pivot. Le procédé imaginé par M. Ritchie est très-simple. Il consiste à placer une petite poche métallique au-dessous du bassin; elle doit fonctionner comme une sorte de compensateur. Cette enveloppe est douée d'un mouvement d'élasticité analogue à celui qui caractérise le baromètre anéroïde. Lorsque la température s'élève, elle se dilate suivant sa largeur, de façon à emmagasiner plus de liquide, et *vice versâ*, de telle façon que jamais le liquide ne peut faire pression dans la cuvette; par suite son action répulsive sur le système porte-aiguille reste toujours égale.

La boussole Ritchie a fait ses preuves, et elle a été l'objet de certificats d'excellence de la part de nombre d'officiers de Marine anglais et américains. Quand on considère la simplicité de la construction de ce compas, la netteté et l'élégance même de la théorie qui y préside, et surtout l'importance des services qu'il est ap-

pelé à rendre, on ne peut trouver exagéré de dire que M. Ritchie a rendu un service notable à la Marine.

## IV. — La lumière électrique a bord; ses applications diverses.

Chacun sait actuellement que la lumière électrique n'est autre que l'arc lumineux qui se forme entre deux pointes de charbon fixées aux deux pôles d'une pile à acide nitrique composée d'un nombre convenable de couples, cinquante ou soixante, ou aux pôles d'une machine magnéto-électrique. Cette lumière n'est pas due à la combustion des charbons, mais à l'irradiation de leurs molécules qui voyagent, d'une manière continue, du pôle *positif* au pôle *négatif* de la source électrique. Par suite, si la combustion n'avait pas lieu, c'est-à-dire si l'on opérait dans le vide absolu, la distance des charbons étant réglée d'après l'intensité de la source électrique, on aurait nécessairement un arc lumineux continu, puisque la quantité de matière arrachée au pôle positif se retrouverait exactement transportée au pôle négatif.

Le but que doit remplir un *régulateur de lumière électrique* est donc de corriger mécaniquement l'écart des charbons dans l'air, qui résulte de leur combustion. On ne peut opérer dans le vide, car les enveloppes de verre ne sont pas susceptibles de résister à la haute température due à la formation de l'arc. MM. Staite et Petrie en Angleterre, et Léon Foucault en France, résolurent en même temps la question des régulateurs photo-

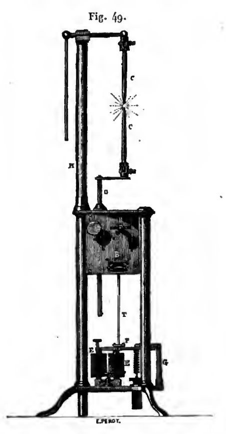
électriques. Ce dernier savant, si prématurément ravi à la science, a donné, on peut le dire, le premier et le dernier mot de la question. Nous décrivons, *in extenso*, le régulateur que M. J. Duboscq a construit d'après les indications de L. Foucault : c'est le dernier appareil créé par l'illustre physicien avant la cruelle maladie qui l'a enlevé. Avant ce régulateur, on employait généralement celui de M. J. Duboscq; depuis quelques années, M. Serrin en a établi un, qui est doté du mouvement de recul et qui a été également adopté pour le service maritime.

*Régulateur photo-électrique de L. Foucault.* — Le régulateur de L. Foucault, tel que M. J. Duboscq le construit, est représenté dans son ensemble (*fig.* 49). L'arc lumineux éclate entre les extrémités des charbons C, C; le courant électrique leur est amené par les colonnes métalliques H, D; l'électro-aimant EE étant interposé dans le circuit, son armature F communique un mouvement de bascule au bras de levier T, dont le marteau commande au mécanisme que renferme la caisse B. Le mécanisme de l'appareil est assez complexe, il est vrai, mais son installation est très-solide.

En *l'* (*fig.* 50) est le barillet dont le ressort détermine le mouvement des roues dentées qui s'engrènent avec les crémaillères des porte-charbons; le rapport de leurs diamètres étant 1 : 2, il en est de même de la vitesse relative des charbons eux-mêmes. Ce mouvement se transmet à cinq mobiles dont le dernier terme est le volant *o'*, qui peut être maintenu en repos par la tête du marteau *t*. Ainsi, dans le premier effet obtenu, le vo-

lant $o'$ étant lâché par le marteau $t$, les deux charbons marchent l'un vers l'autre. En $l$ est un second organe

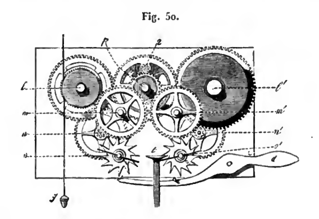
Fig. 49.




moteur qui se trouve en relation, par cinq autres mobiles, avec un second volant $o$, situé sur le même plan que le premier moteur $l'$; il se trouve, lui aussi, commandé par le marteau $t$. Entre ces deux systèmes moteurs symétriques, existe une roue *satellite* qui transmet aux rouages des charbons, quand le système moteur

direct est arrêté, un mouvement de sens inverse à celui dont est animé le système symétrique, dès que le marteau *t*, lâchant le volant *o*, ne retient plus que *o'*. Dans ce

Fig. 50.

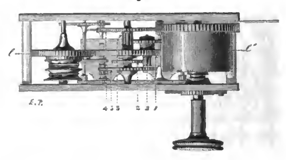


second cas, les charbons s'écartent l'un de l'autre, et le mouvement du barillet *l'* est remonté d'une quantité équivalente à celle du recul.

Les charbons sont aussi susceptibles de recevoir à la main une marche indépendante : à cet effet, l'axe du charbon inférieur pénètre dans celui du charbon supérieur, de telle sorte qu'en réalité ils n'ont qu'un seul et même axe. Il résulte de cette combinaison que le charbon inférieur peut être monté ou descendu à volonté par la seule manœuvre du bouton qui commande l'axe, tandis qu'en faisant fonctionner l'axe commun on montera ou l'on descendra les deux charbons ensemble. La *fig.* 51 représente ce mécanisme en perspective. Examinons maintenant la fonction de l'organe électrique. Le courant arrive aux charbons par le circuit conducteur dans

lequel est intercalé l'électro-aimant EE, et l'arc voltaïque éclate. Par suite de la combustion des charbons,

Fig. 51.



leur distance augmente, et, par conséquent, la résistance du courant devient plus grande; son intensité diminuant alors dans les fils de l'électro-aimant, le ressort antagoniste triomphe de l'attraction exercée sur le fer doux; celui-ci se relève, fait basculer le levier T, de manière à décliqueter le volant $o'$; les charbons se rapprochent, l'arc se reforme. L'intensité du courant rendant à l'électro-aimant sa force première, le fer doux est attiré; le marteau s'appuie de nouveau sur l'ailette de $o'$ et les charbons se maintiennent immobiles.

Quelquefois il arrive, accidentellement, que les charbons tombent au contact : dès lors l'arc s'éteint; mais cet inconvénient n'est pas à craindre avec l'appareil de Foucault, car, le contact détruisant toute résistance extérieure augmente singulièrement la puissance magnétique de l'électro-aimant. Grâce à une combinaison que nous allons décrire, l'amplitude du mouvement imprimé au levier par le fer doux augmente assez à ce moment

pour lui faire lâcher le volant $o'$; alors, un mouvement de recul est imprimé aux charbons. Or ce mécanisme est réglé pour agir dès qu'il se fait entre les charbons un rapprochement même insuffisant pour causer l'extinction : l'arc lumineux aura donc une durée constante.

Parlons maintenant de ce complément que L. Foucault a apporté à la détente de l'électro-aimant. L'armature en fer doux, disposée comme elle l'est ordinairement en regard de l'électro-aimant, se trouve, à l'égard des forces qui la sollicitent, dans un état d'équilibre instable, c'est-à-dire obligée de se précipiter sur l'un ou l'autre des arrêts qui limitent sa course, sans jamais pouvoir séjourner entre eux deux. Un tel état de choses aurait amené dans l'appareil à recul une perpétuelle oscillation résultant du fonctionnement alternatif des deux rouages. Pour éviter cet inconvénient on a fait usage du *répartiteur* de M. Robert-Houdin, à l'aide duquel on rend plus ou moins stable, à volonté, l'équilibre de l'armature en fer doux. Au lieu d'agir directement sur celle-ci, le ressort antagoniste s'applique à l'extrémité d'une pièce articulée à un point fixe et dont le bord, façonné suivant une courbe particulière, presse, en roulant, sur un prolongement de l'armature qui représente ainsi un levier de longueur variable. On voit alors l'armature rester flottante entre ces deux arrêts, puis osciller : sa position est donc à chaque instant l'expression de l'intensité du courant de la pile. Tant que cette intensité conserve la valeur voulue et corrélative de la distance gardée entre les charbons, les deux systèmes

de rouages sont maintenus au repos, pour ne se mettre l'un ou l'autre en mouvement qu'au moment où le courant devient ou trop fort ou trop faible.

Le *régulateur Foucault* remplit donc toutes les conditions exigées pour les diverses applications de la lumière électrique : réglage facultatif du point lumineux ; fixité absolue de ce dernier, une fois qu'il est établi; constance de la lumière émise; solidité du mécanisme, laquelle permet de donner à l'appareil une inclinaison quelconque, condition indispensable pour le fonctionnement d'un régulateur électrique à bord d'un navire (*).

(*) Cet appareil est celui qui fut adopté pour le service des signaux pendant le siége de Paris. La lampe était placée dans une caisse spéciale, à volet mobile, de façon à produire, à volonté, des éclairs lumineux rapides; le faisceau était réfléchi par un puissant miroir disposé de manière à rendre, à volonté, le faisceau convergent, parallèle ou divergent. Des écrans de couleur permettaient enfin d'obtenir des faisceaux rouges, verts ou bleus, nécessaires à la télégraphie optique. La pile fut forcément la source électrique invoquée; on manquait de machines magnéto-électriques, et, du reste, le charbon nécessaire pour l'alimentation des machines à vapeur eût fait défaut avant la fin du siége. Seul, le fanal de la redoute de Montmartre fut entretenu par le courant d'une machine magnéto-électrique. L'arc fourni par le courant de la machine magnéto-électrique était nécessairement bien plus intense que ceux qui provenaient de piles à acide nitrique, composées de cinquante couples; puisque cette machine équivaut en puissance effective à cent de ces couples. Ce fanal, habilement conduit, balayait de ses rayons le plateau d'Argenteuil, et son faisceau plongeait dans la redoute même d'Orgemont, située à plus de 10 kilomètres, à vol d'oiseau. Les Allemands ont en vain tenté, à plusieurs reprises, de surprendre nos forts pendant la nuit; la lumière électrique faisait bonne garde.

Les assiégeants employaient également l'arc voltaïque, soit pour étudier nos travaux de nuit, soit pour éclairer le tir de leurs batteries : la

*Phares électriques.* — Pour donner une idée du prix comparatif de l'équivalent de lumière émise par l'arc voltaïque et par une lampe à huile, nous reproduisons deux tableaux empruntés au Rapport fait par M. Reynaud, directeur de l'Administration des phares, sur l'état de la question de l'éclairage électrique des phares.

*Phare à huile.*

| | |
|---|---|
| Appareil, y compris l'armature.......... | 37 940fr |
| Trois lampes mécaniques............... | 2 100 |
| Machine de rotation.................... | 3 200 |
| Lanterne.............................. | 20 400 |
| Mise en place......................... | 3 900 |
| | 68 440fr |

*Frais annuels comptés pour 4000 heures d'éclairage.*

| | |
|---|---|
| Frais annuels......................... | 7 973fr |
| Intérêt et amortissement............... | 6 844 |
| | 14 817fr |

$$\text{Dépense par heure : } \frac{14817}{4000} = 3^{fr},70.$$

L'intensité de la lumière renvoyée à l'horizon est d'environ 630 becs Carcel unité ; donc le prix du bec Carcel renvoyé à l'horizon est

$$\frac{3^{fr},70}{630} = 0^{c},58.$$

*Phare électrique.*

| | |
|---|---|
| Deux machines magnéto-électriques...... | 16 000fr |
| Deux machines à vapeur et accessoires.... | 6 000 |
| Deux régulateurs....................... | 3 000 |
| Appareil lenticulaire.................. | 3 000 |
| | 28 000fr |

portée des faisceaux indiquait suffisamment que, de leur côté, le générateur d'électricité était de l'ordre magnéto-électrique. L'habileté qui présidait à l'installation et à la manœuvre des appareils prouvait aussi que les états-majors renfermaient de savants électriciens.

*Dépense par heure, en comptant 4000 heures d'éclairage par année.*

| | fr |
|---|---|
| Intérêt et amortissement du capital........ | 0,70 |
| Charbon pour la machine à vapeur......... | 0,40 |
| Salaire de deux chauffeurs................ | 0,70 |
| » de deux gardiens.................. | 0,50 |
| Crayons de carbone...................... | 0,36 |
| Graissage et entretien du matériel.......... | 0,13 |
| | 2,79 |

L'intensité lumineuse moyenne envoyée vers l'horizon, c'est-à-dire prise en dehors des appareils, est de 3500 becs, ce qui donne, pour le prix du bec Carcel renvoyé à l'horizon,

$$\frac{2^{fr},79}{3500} = 0^{c},079.$$

Quelque immenses que soient les avantages qui militent en faveur de l'adoption du phare électrique, il reste cependant constant que les rayons qui émanent du phare à huile sont plus aptes à percer la brume; car la lumière carbonée est plus riche en rayons rouges que la lumière électrique. En temps de brouillard, le soir, chacun a pu voir la lune et les becs de gaz prendre une teinte rouge : c'est que les autres rayons ne peuvent traverser l'atmosphère brumeuse. On obviera à ce grave inconvénient pour le phare électrique, en utilisant les deux machines magnéto-électriques, dont l'une doit toujours être prête à suppléer l'autre. On les accouple dès que la brume se fait sentir et, l'intensité de l'arc lumineux étant doublée, la lumière peut défier la résistance atmosphérique. On ne pourrait doubler la mèche d'une lampe, comme on double l'intensité du courant qui afflue entre les cônes de charbon.

La question des phares électriques n'a pas fait de grands progrès depuis le Rapport de M. Reynaud.

Transformera-t-on les phares existants? On sacrifierait l'installation actuelle à ce seul avantage de pouvoir augmenter la puissance du feu à un moment donné. En outre tous les phares n'ont pas une assise suffisante pour l'emménagement des nouveaux appareils. Cela est douteux pour la plupart des phares situés sur la côte. Quant aux feux d'ordres inférieurs, il serait illusoire de penser à leur transformation. Les autres difficultés viennent, d'une part, de ce que les lampes électriques, si bien organisées qu'elles soient, restent soumises aux causes de dérangement qui incombent aux meilleurs mécanismes; d'autre part, de ce que les charbons, toujours plus ou moins impurs, s'écaillent et donnent lieu à des interruptions (1), puis à des reprises produisant des éclairs qui peuvent déterminer des erreurs dans le service du phare.

Mais, s'il s'agit de la création d'un nouveau phare, comme celui qui domine l'entrée du fameux canal de Suez, il y a nécessairement intérêt à l'installer électriquement.

En résumé, l'importance *industrielle* de la question est moindre qu'on ne l'avait supposé d'abord.

*Éclairage électrique des navires.* — La lumière électrique est un bienfait pour la marine, et elle s'impose,

(1) Toutes les tentatives faites jusqu'ici pour appliquer le graphite pur à la fabrication des crayons pour les lampes électriques ont échoué, en ce qu'il n'est pas possible de les obtenir d'une longueur suffisante.

malgré la résistance de la routine administrative. Depuis les expériences qui ont été faites avec le plus grand succès à bord de certains navires français et américains, il n'y a pas d'officier de marine, ami du progrès, qui ne désire son adoption.

Nul ne peut contester que le mode d'éclairage adopté à bord des navires soit plus qu'insuffisant. On peut même dire qu'il est tout à fait inefficace, alors qu'il deviendrait indispensable, pendant la brume. Ces derniers temps, les collisions en mer ont été signalées coup sur coup, et toujours elles auraient été prévenues si les navires eussent été munis de fanaux autres que leurs lampes à huile. Citons quelques-unes des catastrophes les plus récentes. Le paquebot *Général-Abatucci*, de la compagnie Valery, est abordé à 2 heures du matin par un brick norwégien; il sombre. On sauve trente-trois personnes sur quarante-neuf passagers. Tous périssaient sans l'intervention d'un *trois-mâts* qui recueillit les naufragés se soutenant sur mer à la faveur d'épaves. Le *Marquis-d'Abercorn* et le *Lord-Gough* s'abordent dans la matinée, par un temps brumeux. Le choc est épouvantable, le *Marquis d'Abercorn* s'entr'ouvre et disparaît; l'équipage est heureusement recueilli par le *Lord-Gough*.

La cause de l'éclairage électrique des navires a été gagnée en Autriche; le yacht *le Greif* de S. M. l'Empereur d'Autriche est arrivé, fin novembre dernier, en rade de Villefranche, où il est entré et sorti de nuit, grâce au fanal électrique qui était admirablement installé au haut du mât de misaine. C'est ce yacht qui a

effectué, depuis, la traversée de Port-Saïd à Suez, en projetant sur les côtes du canal une splendide lumière, tandis que l'*Aigle* monté par S. M. l'Impératrice le suivait comme un oiseau de nuit. Le nouveau yacht impérial *l'Hirondelle* devait être pourvu de ses machines magnéto-électriques lorsqu'il quittait le Havre ponr venir passer sa vérification à Cherbourg; l'aménagement des machines n'a pu avoir lieu. Ce magnifique navire, mal éclairé, lors de son entrée à Cherbourg, est venu aborder en plein le quai de la Grande-Douane, avec une telle violence, qu'il a perdu son taille-mer, et que son étrave a été presque démolie.

L'installation de l'arc voltaïque à bord d'un navire est-elle chose tellement compliquée et tellement onéreuse qu'on ne puisse au moins discuter sérieusement son adoption? L'expérience a répondu victorieusement à toutes ces questions, et de l'expérience même ont surgi d'autres applications maritimes de la lumière électrique.

Pour l'installation, nous avons décrit les engins électriques qui la constituent. Les premières expériences faites par M. Berlioz (directeur de la compagnie l'Alliance, qui exploite la machine magnéto-électrique française), à bord du yacht *le Prince-Napoléon*, ont montré que cette machine, si bien construite par M. Van Malderen, est celle qui transforme, de la manière la plus pratique et la plus utile, le mouvement en électricité, puis en lumière. Mettez en action (avons-nous dit plus haut) deux à trois chevaux-vapeur de la machine : le gé-

nérateur d'électricité entre en mouvement, et le courant électrique qui s'établit d'une manière régulière entre les crayons de charbon de la lampe photo-électrique y occasionne un arc lumineux d'une puissance telle, qu'il faudrait soixante couples à acide nitrique pour l'obtenir

L'appareil photo-électrique (c'est-à-dire la lampe) est actuellement disposé de façon à pouvoir s'allumer ou s'éteindre à distance. Ainsi, le fanal une fois mis en place, l'électricité engendrée par la machine magnéto-électrique arrive, par un conducteur, au banc de quart; là se trouve un manipulateur analogue à celui de l'appareil télégraphique Morse, qui permet de lancer le courant dans l'appareil ou de le supprimer; et, par suite, de déterminer la production de l'arc lumineux ou son extinction. Cette disposition n'a pas seulement l'avantage d'éviter de *monter au mât*, et de permettre d'allumer ou d'éteindre le feu électrique en manœuvrant une clef disposée *ad hoc* sur l'appareil. Elle offre encore une autre application maritime de la lumière électrique que nous allons exposer.

*La Télégraphie optique*. — La correspondance entre bâtiments par voie de pavillons est impossible de nuit et en temps de brume; de plus, elle ne permet de transmettre que des ordres de stratégie ou administratifs, ou des correspondances inscrites à l'avance sur un vocabulaire. Le phare électrique du bord donne le moyen de transformer *optiquement* les signaux du système Morse. Il est aisé, en effet, de comprendre qu'il est possible de remplacer les *points* et les *lignes* du langage Morse par

des apparitions de lumière subites ou prolongées. Voilà donc le navire armé d'un télégraphe, qui lui sert en outre à éclairer sa route.

Beaucoup d'autres applications se présentent d'elles-mêmes.

Nous avons parlé des collisions : elles sont évitées, puisque le fanal électrique, *bien placé*, embrasse aisément un circuit de 1200 à 1400 mètres, espace suffisant pour assurer la manœuvre.

Les *surprises*, par bâtiment ennemi, deviennent impossibles; car le *fanal électrique*, qui, déjà, est devenu *télégraphe*, va se transformer en engin de guerre. Citons un exemple. Le yacht *le Prince-Napoléon*, armé de son fanal électrique, rencontre en mer un aviso, *le Renard*: il braque sur lui son feu éblouissant, et le tient noyé et perdu dans son flot de lumière; l'équipage était inconscient du point d'où tombaient ces rayons lumineux. Le yacht pouvait à ce moment mitrailler le malheureux aviso, sans qu'il fût possible à celui-ci de rendre coup pour coup. La lumière électrique aurait permis de *faire merveille*. Lors de la campagne de 1870, nos principaux bâtiments cuirassés et les chaloupes canonnières ont été armés de fanaux électriques.

L'entrée des ports exige, chacun le sait, la plus grande attention et la précision extrême des manœuvres. Elle peut, grâce au *fanal*, s'effectuer pendant la nuit. Ainsi, lorsque les premières expériences d'éclairage électrique furent faites à bord du yacht *le Prince-Napoléon*, ce bâtiment arrivait à Constantinople, de conserve

avec le yacht du vice-roi d'Égypte. Eh bien! il est entré aussi sûrement qu'en plein jour, tandis que son compagnon de voyage a dû attendre le lever de l'aurore. Le fanal électrique est encore susceptible d'une autre application : placez-le (*fig.* 52) dans une cage en verre hermétiquement close et plongez-le; il illuminera les eaux de façon à mettre en pleine lumière les cloches qui renferment soit des ouvriers chargés de réparer la carène du navire, soit des plongeurs, etc. C'est grâce à la lumière électrique que l'on a pu explorer avec tant de succès les profondeurs de la baie du Vigo.

*Pêche optique.* — Au point de vue de la pêche, les poissons afflueront en masse dans le circuit lumineux; c'est la pêche miraculeuse renouvelée de l'Évangile, grâce à la science.

### V. — Exploseurs électriques.

Il n'y a pas un grand nombre d'années, lorsqu'il s'agissait de faire sauter un fourneau de mine, on le mettait en communication avec le sol par un tube de toile garni de poudre : à l'extrémité de cette traînée on plaçait une bande d'amadou assez longue pour que les opérateurs chargés d'y mettre le feu eussent le temps de se mettre hors de portée. Plusieurs causes contribuaient à rendre cette méthode dangereuse. Malgré le soin qu'on apportait à la construction des *saucissons*, ils pouvaient être défectueux quant à la conductibilité, et souvent la mine sautait plus tôt que l'on ne s'y attendait. Si plusieurs

mines étaient disposées pour éclater ensemble et qu'un retard se manifestât pour l'une ou plusieurs d'entre elles,

Fig. 52.



les mineurs se trouvaient exposés au terrible danger d'être surpris par l'explosion au moment où ils venaient visiter

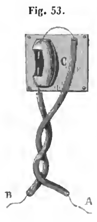
les fourneaux. Enfin, dans le cas des mines monstres, il arrivait très-souvent qu'une forte partie de la poudre ne produisait aucun effet.

M. Have, puis M. Roberts, avaient déjà songé à utiliser la puissance calorifique du courant électrique, et ils ont fait sauter plusieurs mines en enflammant la poudre par le contact d'une spirale de platine rendue incandescente par le courant d'une forte pile. Il a été dit (p. 16) au sujet des applications de la pile au bichromate de potasse que le corps du génie revient à cet ancien système, en modifiant son dispositif.

Lorsque la bobine d'induction fut connue, l'enthousiasme fut tel, que de tous côtés on proposa des applications plus ou moins possibles de ce merveilleux appareil. On chercha en particulier à utiliser, pour l'explosion des mines, le pouvoir calorifique de l'étincelle que l'on pouvait émettre à des distances même très-grandes du générateur; mais le pouvoir calorifique de l'étincelle d'induction est très-faible, et cette étincelle éclate parfois au sein d'une masse de poudre sans en déterminer l'inflammation. Il a fallu que l'ingénieur anglais Stateham imaginât la fusée qui porte son nom pour que le succès de l'opération fût garanti. Cet engin met à profit une observation très-intéressante. Il est représenté *fig.* 53. Lorsque la gutta-percha vulcanisée (c'est-à-dire combinée avec du soufre) a recouvert un fil de cuivre pendant un temps assez long, une couche de sulfure de cuivre, à la fois conductrice de l'électricité et combustible, se dépose à la surface de la gutta-

percha. Si l'on coupe le fil de cuivre suivant une étendue de 2 à 3 centimètres, en conservant la gutta qui affecte

Fig. 53.




alors la forme de gouttière, l'électricité pourra non-seulement passer sous forme d'étincelle, grâce au sulfure de cuivre qui enduit la gutta, mais même déterminer la combustion de ce sulfure de cuivre. Cette espèce de gouttière étant chargée de poudre, et le tout enveloppé de papier, sous forme de fusée, la poudre ne manquera pas de prendre feu par suite de la combustion du sulfure de cuivre. Si donc on engage cette fusée dans une mine, celle-ci éclatera à coup sûr sous l'action *d'une seule étincelle* fournie par la bobine d'induction, même à une distance considérable. Les premiers essais en grand de l'application de la bobine d'induction à l'inflammation des mines ont été tentés en 1858 par M. le colonel Verdu, assisté de M. Rumhkorff, dans les ateliers de M. Herkmann, fabricant de fils recouverts de gutta-percha, à la Villette.

Les expériences ont porté sur des longueurs de fils de 400, 1000, 5000, 26000 mètres; et constamment un entier succès a couronné l'entreprise, que l'on ait agi avec un circuit de deux fils ou que la terre ait fait office de fil de retour. Une bobine ayant un fil inducteur de 40 mètres, un fil induit de 5000 mètres, et fonctionnant à l'aide de deux couples Bunsen est suffisante.

L'intensité des courants induits s'affaiblissant rapidement par suite des solutions de continuité nécessitées par la formation multiple de l'étincelle, on ne peut faire éclater plus de trois mines au moyen de la même décharge, à moins toutefois d'avoir recours à un appareil tellement puissant, que sa construction et son installation en campagne présentent des difficultés considérables. Pour obvier à ces nouveaux obstacles, M. Rumhkorff a imaginé un *communicateur* d'étincelles, qui permet, à l'aide d'une petite bobine d'induction, de faire sauter autant de mines qu'on voudra, et, cela, presque instantanément. Une série de lames de cuivre, parfaitement isolées, sont disposées sur un support de bois; chaque lame est en relation par ses extrémités avec les fils qui conduisent à la fusée logée dans une des mines. D'autre part, les pôles de la bobine aboutissent à une touche que l'on manœuvre à la main, et qui est formée de deux tiges de cuivre isolées l'une de l'autre et affectant la forme d'une fourche. La bobine étant mise en marche, chaque fois que l'on établit le contact de la fourche avec une des lames, l'étincelle se produit entre les fils de la fusée correspondante, et détermine l'explosion immé-

diate de la mine : ainsi, dans le temps matériellement nécessaire pour faire parcourir à la touche toutes les lames du communicateur, l'étincelle se produira dans toutes les fusées, et fera éclater toutes les mines.

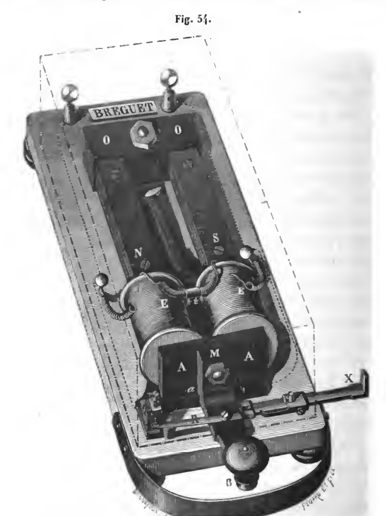
L'étincelle d'induction n'a pas seulement servi à l'industrie des mines. Elle a fait ses preuves comme engin de guerre, notamment lors de la campagne de Chine. Le capitaine de vaisseau Trèves fit sauter deux forts situés sur le cours du Péi-Ho : il n'y eut aucune projection verticale; les bâtisses s'affaissèrent comme sous l'influence d'un tremblement de terre. Pour ces sortes d'opérations, on fera usage de câbles à fil de cuivre fin, convenablement isolés à l'aide d'une des compositions que nous avons citées dans le troisième Chapitre. Le sol pourra faire office de retour.

*Exploseur magnéto-électrique.* — L'exploseur magnéto-électrique de M. Breguet est représenté *fig.* 54. Les aimants ON, OS constituent un faisceau très-énergique dont les pôles influencent les fers doux intérieurs de l'électro-aimant EE. Une armature fixe AA renforce d'une manière continue les pôles de l'électro-aimant. L'organe actif est une pièce de fer doux M que l'on peut éloigner ou rapprocher de AA, en pesant énergiquement sur la poignée B; puis l'abandonnant. Un ressort antagoniste ramène la semelle M au contact de l'armature.

Expliquons maintenant la marche de l'appareil : l'éloignement du fer doux M diminuant la force des armatures aimantées de l'électro-aimant, il se produit dans le fil, suivant la théorie d'Ampère, un courant induit

*direct* par rapport au courant des aimants. Ce courant

Fig. 54.




est doué d'une certaine tension, il peut être apprécié physiologiquement, il peut influencer des appareils gal-

vanométriques, mais il ne pourrait engendrer que des étincelles très-faibles, à moins d'amplifier outre mesure le volume de l'appareil. M. Breguet a très-habilement profité d'un *second* courant qui se manifeste nécessairement en même temps que le courant direct, et que les électriciens connaissent sous le nom d'*extra-courant*. Ce courant étant de même sens que le courant inducteur coïncide avec le courant induit direct et ajoute sa puissance de tension à la sienne; or la tension de l'extra-courant est considérable, et c'est elle que M. Breguet s'est préoccupé d'utiliser à son état maximum. La *fig.* 54 indique la disposition adoptée dans ce but. Un ressort R fixé sur le manche de l'armature appuie sur l'extrémité de la vis *v* placée sur un pont. Pendant une partie du mouvement de l'armature, le ressort continue d'appuyer sur cette vis, et ce n'est que vers la fin de son mouvement que la séparation a lieu. Or les deux extrémités du fil des bobines aboutissent, l'une au ressort R, l'autre à la vis *v*; par conséquent, aussi longtemps que le contact de ces deux pièces dure, le circuit est fermé sur lui-même, et aucune manifestation ne peut avoir lieu. Dès l'interruption de ce contact, c'est-à-dire au moment où l'effet inducteur est à son maximum, le courant direct part et en même temps l'extra-courant d'induction qui s'est produit pendant la première partie du mouvement. On peut aisément se rendre compte de la supériorité d'effet dû à l'extra-courant dans l'action totale de l'appareil. Plaçons un papier, un isolant quelconque, entre le ressort R et la vis *v*; nous supprimons

ainsi l'extra-courant et l'action devient alors à peine appréciable physiologiquement. Quant à l'effet galvanométrique, il est plus faible, mais toujours de même sens.

Pour augmenter la puissance de l'appareil, on a eu recours à toutes les précautions possibles. Ainsi, et c'est là un point très-important, les bobines sont placées non pas sur les branches de l'aimant, mais sur des cylindres de fer doux vissés dans l'aimant. On a constaté que, dans cette disposition, le mouvement du pôle dans les bobines est plus considérable.

Cette disposition a permis d'ailleurs de supprimer la partie centrale des bobines; les joues (en bois) sont vissées sur le fer doux, et, par suite, le fil est enroulé sur le fer sans interposition d'une pièce qui augmente la distance entre le fer inducteur et les spires induites. Notons aussi qu'il est important que les bobines soient faites en bois et non en métal, parce que les courants d'induction y prendraient naissance au détriment de l'effet utile de l'instrument. Enfin il est de toute importance que, l'appareil étant en ligne sur une ou plusieurs amorces, on ne puisse accidentellement le mettre en marche. On a disposé à cet effet un verrou qui, s'il n'est pas tiré, empêche l'exploseur d'agir.

Le manipulateur magnéto-électrique, construit par MM. Digney, est également capable, même sous un volume restreint, de fournir des étincelles qui déterminent l'explosion d'amorces spéciales. Il n'y a pas là influence d'extra-courant, mais manifestation d'un

double effet inducteur : celui de l'armature, puis celui du fil de l'hélice sur les fils de l'électro-aimant. Ces deux générateurs magnéto-électriques concourent donc au même effet, quoique fondés sur des causes différentes.

*Fusée Ebner.* — La fusée de Statebam s'enflamme difficilement sous l'action du générateur magnéto-électrique, l'étincelle étant encore moins calorifique que celle de la bobine d'induction. M. Ebner, colonel du génie autrichien, a combiné un système d'amorce qui agit à coup sûr (*fig.* 55). Deux fils de cuivre, auxquels

Fig. 55.



aboutissent les conducteurs venant de l'exploseur, sont isolés l'un de l'autre et maintenus par une masse de soufre et de verre fondus ensemble; entre leurs extrémités intérieures, on place une poudre fulminante composée de chlorate de potasse, de sulfure d'antimoine et de charbon; l'amorce est fermée par un simple bouchon

de liége. La poudre fulminante est peu conductrice, et l'inflammation a lieu par suite de la résistance qu'elle oppose au passage du courant.

M. Abel, professeur à l'École du génie de Woolwich, qui s'est fait remarquer cette année par des travaux très-curieux sur le fulmi-coton, a imaginé une disposition très-avantageuse pour les amorces. La poudre dont il fait usage est un mélange de chlorate de potasse, de sous-phosphure et de sous-sulfure de cuivre, délayés dans de l'eau gommée :

| | |
|---|---|
| Sous-sulfure de cuivre............... | 64 |
| Chlorate de potasse............... .. | 22 |
| Sous-phosphure de cuivre ........... | 14 |
| | 100 |

La forme la plus simple et la plus perfectionnée de ces amorces est la suivante. Deux fils de cuivre d'un demi-millimètre de diamètre sont placés à un millimètre de distance environ l'un de l'autre dans un fil de gutta-percha de 4 millimètres de diamètre. Ils se trouvent donc parfaitement isolés l'un de l'autre et maintenus à une distance convenable. A l'une des extrémités, les deux fils de cuivre sont dégagés sur un demi-millimètre de longueur environ, et, entre ces deux pointes, on place la poudre fulminante, qu'on maintient dans une petite capsule cylindrique d'étain. Ces amorces rudimentaires servent aux expériences proprement dites. Pour l'inflammation des mines, on les met dans un petit moule en bois qui contient de la poudre ordinaire et qui est fermé

par un bouchon. Pour mettre le feu aux canons, enfin, on ajoute encore un petit tuyau de plume qui entre dans la lumière et qui contient du pulvérin.

Quant à la distance à laquelle *porte* un exploseur magnéto-électrique, nous nous bornerons à citer deux résultats obtenus avec le système à extra-courant de M. Breguet (dimensions restreintes, telles que l'appareil ne pèse que $7^{kg},5$). En 1868, on fit sauter des amorces de Paris à Rouen, ligne de 120 kilomètres, avec retour par la terre. En 1869, M. F. Michel en a fait sauter de Paris à Bordeaux, ligne de 585 kilomètres, retour par la terre.

L'organe télégraphique du bord peut donc, à un instant voulu, devenir un engin d'explosion. S'agit-il d'une mine? un câble est coulé; une ramification souterraine est prise au rivage et conduit au fourneau de mine. Le bâtiment prend le large; et, de son banc de quart, ou de sa cabine, le chef n'a qu'à baisser la manivelle pour effectuer l'œuvre de destruction.

*Torpilles.* — Depuis quelque temps on s'occupe beaucoup de mines sous-marines, dont l'explosion est déterminée par l'électricité, et qu'on appelle *Torpilles*, d'après le poisson électrique de ce nom. Ces engins sous-marins sont, à proprement parler, des récipients qu'on charge de poudre et qui doivent par leur explosion détruire les navires passant dans leur voisinage.

Les abords d'un port, en temps de guerre, sont désormais protégés par des torpilles distribuées sur un certain nombre de lignes de défense. Un poste d'observation est

disposé sous forme de chambre noire, et sur l'écran de cette chambre sont marqués des points correspondant aux torpilles. Lorsque l'image du navire ennemi se projette sur un de ces points, on fait éclater la torpille qui lui correspond, en pressant un contact, ou agissant sur une manivelle, selon qu'on opère avec une bobine d'induction (ce qui est possible à terre) ou avec un générateur magnéto-électrique. On emploie deux espèces de torpilles. Les unes, *automatiques* ou *de choc*, sautent au moment où un navire les choque ; elles sont alors exclusivement chimiques. Les autres, *dormantes* ou *de fond*, occupent une place déterminée ; ces dernières sont *électriques ;* elles se trouvent en relation avec le générateur du bord, et partent au commandement de l'officier. Nous voilà bien loin des anciennes grenades ! Mais espérons que le perfectionnement même des engins de destruction fera prendre en horreur aux peuples civilisés des guerres qui deviennent d'horribles boucheries (1).

---

(1) Les torpilles n'ont fatalement joué qu'un rôle secondaire pendant le siége de Paris : elles avaient pour principale mission de sauvegarder les approches des forts et des remparts, et on sait que la tactique allemande fut, non d'enlever la ville assiégée de vive force, mais au contraire d'opérer contre elle par voie de blocus tout en bombardant, non les remparts, mais l'intérieur de la ville.

Paris, comme les autres places fortes, a donc eu son réseau de torpilles autour des remparts et des forts ; un corps du génie volontaire, composé de praticiens et de professeurs, fut préposé à la surveillance des circuits et à l'entretien des trous de mines.

L'explosion se faisait, soit par l'incandescence d'une spirale de platine, incandescence déterminée par l'émission d'un courant provenant d'une pile à bichromate de potasse (*voir* p. 17), soit par l'étincelle pro-

Lorsqu'une torpille fait explosion, l'eau est soulevée à une grande hauteur; dans certains cas, cette hauteur peut être de plus de 60 mètres. La projection se fait sur

---

venant de l'exploseur magnéto-électrique de Bréguet (p. 185), ou du manipulateur magnéto-électrique de Digney. Les fusées-amorces étaient, de part et d'autre, celles d'Ebner ou celles d'Abel : nous signalerons cependant, comme ayant été jugée digne d'attention, la fusée à dynamite de M. P. Champion, lequel s'est distingué pendant le siége, tout à la fois comme chimiste, par un travail remarquable sur la dynamite, et comme officier du génie volontaire.

L'emploi de la dynamite est différent de celui de la nitro-glycérine. En effet, une faible charge de poudre suffit pour faire détoner celle-ci, tandis que, pour obtenir le même résultat avec la dynamite, il est nécessaire d'employer du fulminate de mercure ou une autre matière analogue pouvant produire un choc violent et une grande élévation de température. Le froid retarde l'explosion de la dynamite et l'empêche totalement à la température de — 6 à — 8 degrés. A + 6 degrés, l'explosion est déjà irrégulière. Néanmoins la dynamite acquiert de nouveau ses propriétés explosives à une température supérieure. La nitro-glycérine, transformée en dynamite, se conserve longtemps et ne se sépare pas de la matière siliceuse avec laquelle elle a été mélangée.

La cartouche employée par M. P. Champion est ainsi constituée. Un tube de carton, bouché à une extrémité, est rempli de dynamite tassée; à la partie supérieure, on place un bouchon en bois entrant à frottement et percé d'un trou dans son axe; à la partie inférieure de ce bouchon est adaptée une capsule en cuivre (de 1 centimètre de hauteur sur 3 millimètres de diamètre), chargée de 1 décigramme de fulminate de mercure. Elle entre à frottement dur dans le trou pratiqué dans le bouchon; une amorce d'Abel pénètre dans cette fusée, et celle-ci fait explosion sous l'action de l'étincelle électrique.

Il a fallu déployer de bien grandes précautions pour détruire tout ce travail, resté inutile, lors de la reddition de Paris. Le corps des électriciens préposés aux torpilles a fait preuve du plus grand zèle et d'une abnégation absolue quant aux dangers auxquels les opérateurs s'exposaient chaque jour.

une très-petite étendue, de telle sorte qu'à une faible distance de l'explosion on ne court aucun danger.

Le rayon d'action d'une torpille et sa puissance destructive varient :

Avec la quantité de poudre qu'elle contient et la nature de cette poudre;

Suivant que la torpille est remplie ou non de poudre (il y a un grand avantage à ce qu'il y ait un vide dans la torpille);

Suivant la profondeur à laquelle la torpille est placée et suivant qu'elle repose sur le fond ou qu'elle est placée entre deux eaux;

Enfin avec la forme de la torpille et la résistance des différentes parties de sa surface.

Pour que les torpilles soient aussi efficaces que possible, il faut les mettre sur plusieurs rangs et en échelon; il faut surtout ne pas les placer trop près de la surface de l'eau, ni leur donner une forme qui occasionne des remous, indice certain pour l'ennemi de la présence d'un danger à éviter. Il convient en outre de mettre des bouées çà et là pour induire l'ennemi en erreur. L'expérience des torpilles fut faite en grand, lors de la guerre d'Amérique : trente-cinq vaisseaux périrent par les torpilles!

# CHAPITRE V.

## L'ÉLECTRICITÉ AU THÉATRE.

### I. — Correspondance télégraphique entre les divers services du théatre.

L'importance de cette installation n'a pas besoin d'être démontrée, elle s'impose d'elle-même. Un théâtre est une administration très-complexe dont les services nécessitent la plus grande entente et la plus rigoureuse exactitude. L'électricité a donc son rôle télégraphique tout tracé au théâtre. Il faut des tableaux de services et des sonneries qui transmettent les avertissements aux divers points du théâtre. Nous proposerions, comme innovation *nécessaire,* de placer à la porte du théâtre une forte sonnerie, du genre *bourdon;* elle permettrait d'appeler les spectateurs qui, ne fréquentant pas le café doté de l'avertisseur électrique administratif, restent dans le voisinage à attendre la fin de l'entr'acte. La dépense serait minime, et c'est une lacune importante à combler.

La correspondance télégraphique dans un théâtre ne nécessite que des *signaux;* il suffit donc d'avoir des tableaux combinés d'une façon spéciale et des sonneries du système dit *trembleur.* Le mode d'installation est le

même que celui qui a été indiqué pour les divers établissements publics.

*Métronome électrique.* — Dans quelques opéras, on place derrière les coulisses des chœurs ou des musiciens, qui se trouvent hors de la vue du chef d'orchestre. Comment celui-ci leur indiquera-t-il la mesure? Une personne peut, il est vrai, se mettre de manière à voir le chef d'orchestre et à la vue des artistes placés en dehors de la scène : s'il bat le mesure, il la transmet donc à ceux-ci. Mais ce procédé donne de mauvais résultats.

Aujourd'hui toute difficulté est levée, grâce à l'emploi du métronome électrique de M. Duboscq, qui a commencé à fonctionner le 3 mars 1869, jour de la première représentation de *Faust.*

Antérieurement à cette époque, on avait déjà tenté de réaliser cette application de l'électricité au théâtre; mais elle était tombée dans l'abandon, à cause de l'imperfection de la méthode adoptée. Le premier métronome était composé d'un électro-aimant destiné à attirer une pièce de fer doux, laquelle portait la verge servant, par son oscillation, à compter la mesure. Un ressort antagoniste ramenait la verge à sa position première lorsque le courant avait cessé de passer dans l'électro-aimant. Le courant s'établissait au moyen d'une pédale qui, lorsqu'on appuyait le pied sur elle, fermait le circuit d'une pile communiquant avec l'électro-aimant du métronome. Mais, dans cet appareil, l'intervention d'un ressort antagoniste pour ramener la verge entraîne de graves inconvénients. D'une part, le ressort, opposant

une résistance à l'action magnétique, fait subir à l'appareil des retards et, par suite, s'oppose à l'*instantanéité* des battements, qui est essentielle. D'autre part, l'action magnétique et le ressort antagoniste développent deux forces qui, étant constamment en opposition, font éprouver à la verge des vibrations assez fortes pour rendre les mouvements difficiles à suivre. M. J. Duboscq a fait disparaître ces inconvénients dans son métronome électrique, qui fonctionne avec la plus grande régularité depuis son installation à l'Opéra.

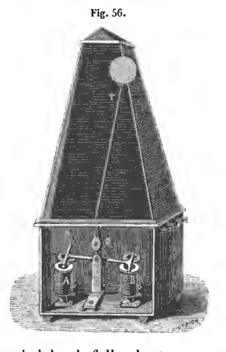
Ce métronome comporte deux parties distinctes : le *transmetteur*, installé à l'orchestre, et le *récepteur*, placé sur le théâtre, en vue des chœurs qu'il doit diriger.

Le *récepteur* (*fig.* 56), qui constitue le métronome proprement dit, est formé de deux électro-aimants A et B, disposés verticalement et qui commandent le mouvement alternatif d'un balancier en agissant alternativement sur les deux masses de fer doux qui arment les extrémités de cette tige. Le balancier porte, verticalement en son milieu, une tige T, que son mouvement oscillatoire fait mouvoir autour du point de suspension O. La tige T se termine enfin par un disque d'aluminium peint en blanc, afin que les mouvements du balancier puissent s'apercevoir de loin. Un contre-poids maintient la verge T verticale, lorsque l'électricité cesse d'agir.

Le *transmetteur* (*fig.* 57) détermine le passage du courant, tantôt dans l'électro-aimant A, tantôt dans l'électro-aimant B; de telle sorte que la verge, nettement attirée dans un sens, puis dans l'autre, n'a pas le mou-

vement vibratoire, qui était si nuisible dans l'appareil précédemment décrit. EE′ représente une plate-forme

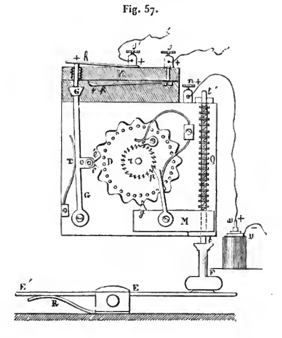
Fig. 56.



située sous le pied du chef d'orchestre : en appuyant sur le ressort antagoniste R ou en le lâchant, l'opérateur déterminera le mouvement à droite ou à gauche de la tige du métronome. EE′, en s'abaissant, soulève le bouton F et par suite une pièce M qui porte un cliquet articulé *p* et un doigt d'arrêt *g*. Le cliquet *p* fait tourner, au moyen d'une dent, une roue à rochet *r*. Celle-ci entraine dans son mouvement de rotation une roue concentrique D, dont les dents sont arrondies et qui fait fonction de la roue d'un manipulateur de télégraphe à cadran. Un levier G

subit, de la part de la roue sinueuse D, un mouvement oscillatoire dont le double effet est : 1° d'amener

Fig. 57.



l'extrémité G′ en contact avec la pièce *h′* qui envoie le courant dans l'électro-aimant B; 2° avec la pièce *h* qui, amenée contre le support N, ferme le circuit de l'électro-aimant A. Le système de conductibilité est très-simple; il suffit de diviser le pôle positif aux deux bornes *s* et *s′* qui aboutissent aux deux contacts qui limitent la course de l'extrémité G′ du levier mû par la roue D. Il résulte de cette disposition du métronome électrique que les deux mouvements sont susceptibles d'être utilisés, que ces mouvements sont instantanés puisqu'il n'y

a pas de résistance à vaincre, que cette instantanéité est cause d'un choc de l'armature contre le fer de l'électro-aimant, lequel détermine un bruit qui répète à l'oreille les indications fournies à l'œil par le jeu du disque surmontant la verge.

### II. — La lumière électrique au théatre.

C'est au théâtre que la lumière électrique reçut son baptême industriel. Ce fait date déjà de loin, c'est en 1846 qu'elle débuta à l'Opéra, lors de la première représentation du *Prophète*. Chargée de produire un effet de soleil levant, elle s'en tira avec succès et reçut les applaudissements les plus unanimes. Sa cause était gagnée : les lampions et lumignons de tous calibres furent mis de côté, et un service d'électricité prit rang sur notre première scène lyrique (1). Depuis cette époque, il est rare qu'un ballet ou un opéra exigeant une mise en scène importante ait été monté sans qu'on y ait introduit un effet quelconque de lumière électrique. Les théâtres de premier ordre suivirent bientôt l'impulsion donnée par l'Opéra, et l'arc voltaïque passa définitivement dans les coutumes scéniques.

L'installation du service d'éclairage électrique dans un théâtre ne laisse pas d'être assez complexe. Depuis quelques années on substitue d'autres sources lumineuses à l'arc voltaïque pour les effets scéniques, mais

(1) M. J. Duboscq est chargé du service de l'électricité à l'Opéra depuis 1855.

les théâtres de premier ordre doivent désormais compter la lumière électrique parmi leurs agents essentiels.

Si nous considérons un théâtre de premier ordre en cours d'installation, nous dirons qu'il doit être pourvu d'une *machine magnéto-électrique*. La machine à vapeur, qui accompagne nécessairement ce générateur d'électricité, pourra être utilisée pour le service des décors; car le progrès dans cette partie doit tendre à supprimer la manœuvre à bras d'hommes qui est trop lente et surtout trop disgracieuse. Un grand théâtre devra être muni de deux machines magnéto-électriques, pouvant opérer isolément ou concentrer leurs courants partiels sur un même fanal électrique. Il faudrait doubler, pour le moins, le service pour la scène du nouvel Opéra, puisque très-souvent on est contraint d'employer quatre et cinq lampes électriques.

L'installation du circuit nécessite les plus grandes précautions, d'abord au point de vue de l'isolement des conducteurs, ensuite au point de vue de leur protection. Les accidents peuvent être occasionnés par les manœuvres des décors, des échelles, des poteaux, etc.; mais quelquefois ils proviennent de la malveillance des employés, et nous ne saurions trop appeler la sévérité des régisseurs sur ce chapitre du service. On évitera, autant que possible, ces difficultés en posant, d'une façon définitive, un câble souterrain à plusieurs fils. Ce câble gagnera la scène par le chemin le plus court, et il se distribuera par artères aux postes principaux de la scène, du cintre, etc.; les bornes de contact seront enfermées dans

des boîtes dont le chef de service aura seul la clef. C'est en ces points que les opérateurs poseront les fils secondaires au moment de la représentation, pour diriger l'action du fanal électrique au point voulu. L'expérience a prouvé que ces câbles, même souterrains, gardent très-convenablement l'électricité (1). La difficulté de la pose réside dans le diamètre du fil, qui doit être assez grand, ce qui rend l'isolement des fils plus délicat à obtenir. En outre, le courant qui traverse l'un des systèmes de fils (le retour ne se faisant pas, dans ce cas, par la terre) a une grande tension, et, si l'isolement des fils n'était pas suffisant, il agirait par induction sur les circuits voisins, d'où des perturbations dans le fonctionnement de l'organe photo-électrique.

M. J. Duboscq étudie, en vue de l'installation du service électrique du nouvel Opéra, un système de câble qui n'aura qu'un fil de retour. Ce procédé nous paraît susceptible de succès, pourvu que la conductibilité de ce fil unique de retour soit au moins rendue égale, par son diamètre, à celle des fils du câble. Cette condition est nécessaire, puisque dans certains cas il y a plusieurs appareils photo-électriques en fonction. En résumé, ce câble de retour unique doit jouer, par rapport aux piles multiples qui s'y rattachent, le rôle d'un véritable *sol*.

Nous n'avons rien à ajouter, quant aux appareils photo-

(1) Au Conservatoire des Arts et Métiers le courant électrique destiné à la production de l'arc voltaïque arrive du laboratoire de physique à l'amphithéâtre par un câble souterrain à six fils qui conserve parfaitement son degré d'isolement depuis plusieurs années.

électriques, à ce qui a été dit dans le Chapitre IV. Nous ne pouvons que recommander le *régulateur*, la dernière œuvre de Léon Foucault, tel que le construit M. J. Duboscq. Cet appareil résout, en effet, le mieux possible les conditions de précision qu'exige la production des effets lumineux au théâtre.

Pour donner une idée de l'importance du rôle que l'électricité est appelée à jouer au théâtre, nous citerons encore quelques effets qui lui ont été demandés.

L'arc voltaïque n'a pas seulement été appliqué au théâtre pour projeter une vive lumière sur certains points de la scène, pour éclairer des sujets, des décorations, des groupes, etc. Ses rayons intenses ont servi à reproduire sur la scène des phénomènes physiques, tels que l'arc-en-ciel, les éclairs, etc. Cette source lumineuse est également la seule qui soit assez intense pour produire sur la vaste scène de l'Opéra des apparitions fantasmagoriques. Entrons maintenant dans quelques détails sur la reproduction de ces phénomènes.

*L'arc-en-ciel.* — L'*arc-en-ciel* a été obtenu à l'Opéra, pour la première fois, par M. J. Duboscq, lors de la reprise de *Moïse*, en 1860. On sait quel est le motif de l'apparition de l'arc-en-ciel, dans le premier acte de *Moïse*. Dans le principe, on éclairait au moyen de lampions de gros calibre, alimentés à l'huile, des bandes de papier coloré, fixées sur la toile qui figure le *ciel de Memphis*. Plus tard vint la lumière électrique; mais il n'y eut que le mode d'éclairage de changé; et, comme il fallait diffuser la lumière incidente pour illuminer l'arc

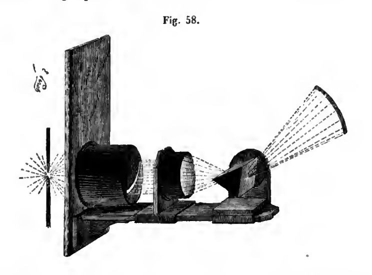
sur une longueur convenable, celui-ci restait toujours trop obscur pour permettre de laisser la scène complétement éclairée. On produisait donc une demi-obscurité, ce qui rendait le phénomène météorologique par trop *magique*, son apparition devenant un contre-sens physique, un *arc-en-ciel de nuit*. Malgré les conventions théâtrales, c'était vraiment s'éloigner par trop de la réalité.

M. J. Duboscq, pour éviter cette déperdition d'intensité lumineuse, voulut projeter l'image spectrale directement sur l'avant de la toile; des difficultés d'un autre genre se présentèrent : l'arc-en-ciel était trop court; en outre, il était difficile de lui donner sa courbe naturelle. Pour obtenir une image étendue, on pensa à projeter l'arc-en-ciel sur un miroir plan qui le réfléchissait ensuite sur la toile. Si l'on anime alors le miroir d'un mouvement oscillatoire rapide, l'image s'allonge, par la même raison qu'un charbon incandescent semble tracer une ligne continue quand on l'agite rapidement devant les yeux. Mais, pour que l'image ne fût pas scintillante, il aurait fallu que l'intervalle de temps qui sépare deux mouvements consécutifs fût moindre que $\frac{1}{8}$ de seconde (limite environ de la persistance moyenne des impressions lumineuses sur la rétine); la difficulté d'exécution devenait dès lors très-grande. La solution à laquelle M. J. Duboscq s'est arrêté en dernier ressort et qui satisfait à toutes les conditions de la question est la suivante (*fig.* 58).

L'appareil photo-électrique, dont l'arc est alimenté par une pile de 100 couples Bunsen, est placé sur

un échafaudage de hauteur convenable, à 5 mètres du rideau et perpendiculairement à la toile qui figure le

Fig. 58.



ciel sur lequel l'arc-en-ciel doit apparaître. Tout le système optique est adapté et fixé dans l'intérieur d'une caisse noircie qui ne diffuse aucune lumière à l'extérieur. Les premières lentilles donnent un faisceau parallèle qui passe ensuite par un écran découpé en forme d'arc. Ce faisceau est reçu par une lentille biconvexe, à très-court foyer, dont le double rôle est d'augmenter la courbure de l'image et de lui donner une extension plus considérable. C'est au sortir de cette dernière lentille que les rayons lumineux traversent le prisme qui doit les décomposer et, par suite, engendrer l'*arc-en-ciel.* La position du prisme n'est pas indifférente : il faut que son sommet soit *en haut*, par rapport au faisceau incident, sinon les couleurs de l'arc ne s'étaleront pas sur

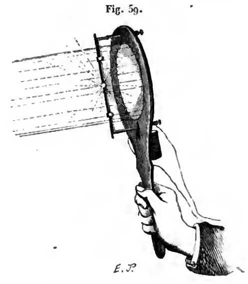
l'écran récepteur dans l'ordre suivant lequel on les voit dans le ciel, c'est-à-dire le *rouge* en haut et le *violet* en bas. En outre, on peut tourner tout le système de façon à rendre l'arc soit horizontal, soit plus ou moins transversal. Grâce à ce nouveau mode d'opérer, l'arc-en-ciel paraît très-lumineux, même quand la scène reste en pleine lumière.

*Les éclairs.* — Imiter le bruit du tonnerre, au théâtre, n'est pas chose difficile; les magasins d'accessoires possèdent tous un *tam-tam* et une plaque de tôle élastique destinés à cet effet. Mais, ce qui n'est pas aussi aisé, c'est de lancer sur la scène des *éclairs*, à peu près vraisemblables. Dans le principe, pour simuler ce phénomène météorologique, on éclairait par derrière, à l'aide d'une flamme colorée en rouge, la toile du fond, dans laquelle était pratiquée une fente étroite et sinueuse. L'art de la mise en scène progressant, grâce à la science, il a fallu mieux faire.

On a choisi, bien entendu, comme source lumineuse, l'arc voltaïque, dont l'origine est identique à celle de la foudre. Ce qu'il fallait trouver de plus, c'était une disposition optique qui permît d'émettre et d'éteindre, à intervalles rapides, le faisceau lumineux, tout en lui imprimant le mouvement en *zigzag* caractéristique de l'éclair. Les appareils photo-électriques qui servent aux effets d'éclairage ne fonctionnent pas assez rapidement pour produire cet effet, et M. J. Duboscq a dû imaginer un nouvel appareil, qui, sou le nom de *miroir magique*, a fort bien réussi à simuler les éclairs.

Au foyer d'un miroir concave (*fig.* 59), se rencontrent les pointes de charbon entre lesquelles se forme l'arc

Fig. 59.




voltaïque. Le charbon supérieur est fixe, mais l'inférieur peut recevoir, à un moment donné, un mouvement de recul. Ce charbon est, en conséquence, adapté à une tige de fer doux, qui plonge, par attraction, dans une hélice magnétisante au moment où celle-ci est traversée par le courant électrique même qui doit constituer l'arc voltaïque. Tant que le courant de la pile n'est pas lancé dans l'appareil, les charbons restent donc en contact; mais, vient-on à fermer le circuit, le fer doux fixé au charbon mobile est subitement attiré; et, par suite, ce dernier effectue son recul : l'arc lumineux se forme aussitôt. Dès que le circuit est rompu, le charbon inférieur revient au contact, l'arc s'éteint. Grâce à

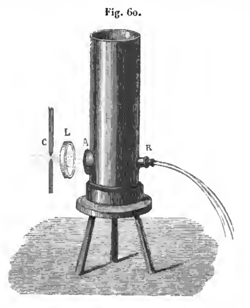
cette disposition, l'émission et l'extinction de la lumière s'obtiennent immédiatement, et l'illumination momentanée de la scène par la foudre est réalisée. Il est moins aisé de donner au faisceau de lumière le zigzag de l'éclair : cependant on pourrait peut-être y parvenir, soit en recevant le faisceau lumineux sur un disque muni d'ouvertures distribuées de telle sorte que leur mouvement sur le disque déterminât, pour l'œil de l'observateur, la marche en *zigzag* du faisceau lumineux; soit en réfléchissant la lumière émise par l'arc voltaïque sur une série de miroirs mobiles.

Parmi les applications au théâtre de la lumière électrique, il faut aussi que nous citions les effets de fantasmagorie, qui, pour être saisissants, exigent ce puissant foyer de lumière. Nous n'insisterons pas sur ce genre d'effets que chacun connaît; mais nous parlerons avec quelques détails des phénomènes de réfraction qui ont eu, tant à l'Opéra que sur les principales scènes de Paris et de l'étranger, le plus légitime succès.

*Les fontaines lumineuses.* — Lorsqu'un liquide s'écoule d'un vase par un orifice circulaire, le jet affecte la forme d'une parabole; de plus, la *veine liquide* n'est pas absolument cylindrique : elle se contracte en un point dont la distance à l'orifice d'écoulement est réglée par une loi mathématique. Dans ces conditions, si un faisceau de lumière est braqué sur l'orifice d'écoulement, il semble *s'élancer* avec le liquide et le *suivre* dans tous les points de sa course. Cet effet est dû au phénomène désigné en optique sous le nom de *réflexion totale:* en

vertu de la courbure de la *veine liquide*, le faisceau est réfléchi, à chaque pas de sa course, par la molécule qu'il rencontre, et, au lieu de la franchir pour se jeter dans l'espace, cette molécule le renvoie dans le sens de la veine qui prend l'aspect d'un jet de feu. Vient-on à briser la courbe liquide, le phénomène de réflexion cesse, et des éclats de lumière jaillissent autour du point brisé. C'est d'après ce principe qu'on a réalisé au théâtre les *fontaines lumineuses*. Le procédé le plus simple consiste à illuminer un jet liquide qui s'échappe d'un orifice : on réalise ainsi l'expérience classique dite de la *veine fluide illuminée*. L'eau est placée dans un vase cylindrique ou prismatique d'assez grande

Fig. 60.




hauteur (*fig.* 60). L'arc voltaïque se place devant un

orifice fermé par une glace transparente et il est braqué de façon à ce que le faisceau lumineux soit dans l'axe de la courbe parabolique que décrira l'eau lors de son écoulement. En plaçant des verres colorés devant le fanal électrique on changera à volonté la nuance de la gerbe de feu (rouge, jaune d'or, vert, bleu). Telle est la disposition de la fontaine de *Faust*, au deuxième acte. Au Châtelet, dans *Cendrillon*, on a ainsi illuminé des cascades qui tombaient du cintre jusqu'à la scène; bien entendu, l'on recourait alors à plusieurs foyers de lumière.

Les jets d'eau s'illuminent également au moyen de la réfraction de la lumière. Il y a deux méthodes d'éclairage : *par en haut* et *par en bas*. C'est la projection de la lumière dirigée de haut en bas qui produit les effets les plus satisfaisants.

### III. — La lumière oxy-hydrogène.

La lumière électrique est essentiellement propre à produire, sur la scène, des effets de soleil. De toutes les lumières artificielles, c'est elle, en effet, dont la constitution se rapproche le plus de celle de la lumière solaire. Rappelons à ce propos que le *spectre solaire* est la division en sept sortes de rayons principaux de la lumière blanche du soleil qui a traversé un prisme. Ces nuances fondamentales sont :

« violet, indigo, bleu, vert, jaune, orangé, rouge »,

ordre facile à retenir, parce qu'il forme un vers alexandrin.

C'est à Newton qu'il faut reporter l'honneur d'avoir établi la nature complexe de la lumière solaire, et par suite celle de toutes les lumières naturelles et artificielles. La lumière blanche est composée de rayons inégalement réfrangibles; c'est ce qui fait qu'ils se séparent les uns des autres en se réfractant à travers le prisme. Les rayons colorés qui composent le spectre sont simples et indécomposables; à chaque couleur simple correspond un degré de réfrangibilité particulier.

Une lumière artificielle se rapprochera d'autant plus de la lumière solaire qu'elle possédera ces divers rayons en proportions équivalentes. Tel est le caractère de la *lumière électrique*.

Deux autres sources lumineuses intenses sont très-usitées au théâtre, souvent même on les substitue à la lumière électrique : la *lumière oxy-hydrogène* et la *lumière au magnésium*. On peut dire qu'elles se partagent les propriétés du spectre solaire. Pour comprendre la cause des diversités physiques qui existent entre ces trois sources intenses de lumière, il est nécessaire de rappeler quelle est la cause première de l'émission de la lumière par une flamme.

Cette condition essentielle est l'existence dans cette flamme de particules solides qui, s'échauffant à un degré convenable, deviennent lumineuses par elles-mêmes et émettent des rayons dont la nuance dépend de leur température et de leur constitution chimique. La lumière émise par l'arc voltaïque est due à l'irradiation des particules de charbon qui voyagent du pôle *positif* au pôle

*négatif*. La lumière dite *oxy-hydrogène*, à *la chaux* ou *Drummond*, est due à l'irradiation d'une matière solide incombustible (chaux, magnésie, zircone), échauffée par la flamme si puissamment calorifique du mélange de 2 volumes d'hydrogène pour 1 volume d'oxygène. La *lumière au magnésium* est le résultat de la combustion à l'air libre d'un fil de magnésium qui, amené à une température suffisante, s'enflamme et donne de la magnésie. Ces trois sources de lumière, dues à l'irradiation de trois matières différentes : charbon, oxyde alcalino-terreux, magnésium, doivent avoir des caractères physiques également différents; car ces substances n'irradient pas de la même manière. Le charbon émet les rayons du spectre solaire; aussi, l'arc voltaïque est-il la source lumineuse qui se rapproche le plus du soleil. « C'est un soleil au petit pied. » La chaux, la magnésie et la zircone émettent des rayons jaunes, orangés et une très-faible proportion de rayons bleus et violets; leur spectre (1) rappelle celui de la lune; cette source lumineuse produira donc sur la scène des effets différents de ceux qui sont dus à la lumière électrique. La flamme du magnésium renferme, au contraire, une proportion considérable de rayons bleus et violets; elle sera donc peu éclairante mais, en revanche, elle pourra être employée pour produire des effets scéniques particuliers, des *effets de phosphorescence*.

---

(1) Spectre s'entend de l'image des rayons qui ont été dispersés par le prisme.

Nous savons comment on produit industriellement la lumière électrique; nous pouvons, sans sortir par trop du cadre de cet ouvrage, indiquer la manière d'obtenir les deux autres sources lumineuses que le théâtre peut utiliser.

Entrons d'abord dans quelques détails sur la production de la lumière.

Tout corps solide, à partir d'un certain degré de température, devient lumineux. La transformation de la chaleur en lumière est d'autant plus complète, que ce corps est moins fusible et moins oxydable. La flamme oxy-hydrogène, résultant de la combustion de 2 volumes d'hydrogène pour 1 vol. d'oxygène, est obscure, précisément parce qu'elle ne contient pas d'élément solide susceptible de transformer en lumière une partie de sa chaleur. La flamme du gaz d'éclairage (hydrogène carboné) est éclairante, au contraire, parce qu'elle renferme des particules de carbone qu'elle échauffe au point de les rendre lumineuses par elles-mêmes. Que l'on émette de l'oxygène dans cette flamme, elle acquiert un éclat très-vif; mais, si l'on dépasse une certaine limite, toute lumière disparaît. Que s'est-il passé? Le pouvoir d'irradiation du carbone croissant avec la température, l'intervention d'un jet d'oxygène dans la flamme d'un bec de gaz aura pour effet d'accroître son pouvoir éclairant; et cela, d'autant plus qu'on approchera de la température de combustion du carbone. La dépasse-t-on? les molécules solides qui étaient en vibration dans la flamme disparaissent, et l'obscurité succède à la lumière. Mais, si l'on agit

sur un corps qui résiste à des températures très-élevées, et que la loi d'irradiation reste vraie dans ces limites reculées, on conçoit que l'irradiation des matières infusibles, chaux, magnésie, zircone, etc., constitue un mode d'éclairage à haute intensité.

De ces deux données expérimentales découlent deux modes différents d'emploi de l'oxygène pour les éclairages à puissante intensité lumineuse :

1° Porter au maximum d'irradiation les molécules de carbone du gaz d'éclairage, en élevant leur température par l'intervention d'un courant de gaz oxygène;

2° Utiliser le pouvoir d'irradiation d'une substance réfractaire, infusible et involatilisable à la température la plus haute que donne le jet oxy-hydrogène.

Quel que soit le procédé qu'on emploie, l'élément essentiel reste donc l'*oxygène* qu'il faut obtenir *à bon marché*. Dans les traités de Chimie on enseigne à retirer ce gaz, l'élément de la vie et de la combustion, de substances qui, par leurs prix, rendent impossible une production industrielle. Prenons par exemple le chlorate de potasse, composé qui rend intégralement tout l'oxygène qu'il contient : le gaz est chimiquement pur; mais le mètre cube revient à 20 francs, y compris la main-d'œuvre.

L'éminent chimiste M. Boussingault est le premier qui ait songé à produire l'oxygène sur une grande échelle en mettant à profit une propriété très-curieuse qu'il a trouvée à la baryte. Cet oxyde, dans son état de causticité le plus absolu, possède la propriété de se combiner

directement avec l'oxygène à la température du *rouge sombre*, en se transformant en bioxyde de baryum; et, si l'on porte ce nouvel oxyde au *rouge vif*, il dégage tout l'oxygène qu'il avait absorbé. Malheureusement, la baryte employée seule ne peut subir plusieurs opérations successives; elle perd rapidement sa capacité d'absorption pour l'oxygène : M. Gondolo est parvenu à rendre pratique le procédé de M. Boussingault, en mélangeant la baryte à des oxydes terreux qui l'empêchent de se fritter et lui conservent par conséquent son caractère spongieux.

En faisant réagir la silice sur le sulfate de chaux, à une haute température, on peut obtenir de l'oxygène et de l'acide sulfureux. M. Archereau a combiné un système de four qui permettrait de réaliser cette réaction d'une manière industrielle.

M. Mallet, l'année dernière, a montré que le protochlorure de cuivre pouvait être également utilisé pour absorber l'oxygène de l'air à une très-basse température et pour le rendre à une température un peu plus élevée.

Mais le procédé d'extraction d'oxygène de l'air qui donne les meilleurs résultats industriels est celui de MM. Tessié du Motay et Maréchal. Ces Messieurs se sont inspirés de réactions chimiques très-curieuses, et les ont combinées très-intelligemment. Des sels alcalins, à acides métalliques (permanganates de soude), donnent un dégagement d'oxygène quand ils sont décomposés par la vapeur d'eau et chauffés à une température suffisamment élevée. Une fois désoxygénés, ces sels pos-

sèdent aussi la propriété de se réoxygéner, si on les expose à l'action d'un courant d'air, à haute température.

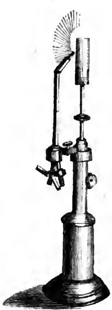
Une compagnie a installé une usine à Pantin pour la production de la lumière oxy-hydrique; elle obtient l'oxygène par le procédé de MM. Tessié et Maréchal, et l'hydrogène par la décomposition de l'eau. Ces gaz sont transportés à domicile par des voitures analogues à celles de la Compagnie du gaz portatif. Disons tout de suite qu'il serait absolument inutile de compliquer ce service, et d'en accroître le côté dangereux en recourant à l'hydrogène au lieu d'utiliser simplement le gaz d'éclairage dont la canalisation est déjà faite, si l'oxygène fourni par la Compagnie ne contenait pas une forte dose d'azote qui neutralise une quantité appréciable de l'effet lumineux. Ce que nous disons n'est pas une critique directe contre l'utilisation de ce gaz, mais un renseignement nécessaire, car il ne faudrait pas penser qu'un bec de cette lumière équivaut à un bec alimenté par l'oxygène pur et le gaz d'éclairage.

Le prix de revient de l'oxygène, par cette méthode, ou par une de celles qui ont été citées, descendant à 2 francs ou 3 francs le mètre cube, au lieu de 20 francs, prix du rendement par le chlorate de potasse, il est fort à désirer que chacun des inventeurs s'efforce de perfectionner son procédé pour éliminer l'azote de l'élément comburant.

Au théâtre, on emploie déjà la lumière due à l'irradiation d'une matière réfractaire par la flamme oxyhydrogène. On utilise comme matière irradiante la ma-

gnésie préparée d'après le procédé de M. Caron (1). Elle offre l'avantage, sur la chaux, de ne pas se déliter à l'air; et elle n'émet pas sensiblement moins de lumière. La *fig.* 61 indique la disposition de l'appareil, dit


Fig. 61.



*chalumeau oxy-hydrogène*. Les deux gaz arrivent par des circuits absolument isolés au bec où l'on enflamme leur mélange qui s'effectue, à cause des diamètres relatifs des

(1) M. E. Muller, professeur à l'École Centrale des Arts et Manufactures, prépare actuellement des cylindres de magnésie légers ou compactes, qui, selon la température du recuit qu'ils ont subi, émettent une lumière plus ou moins riche en rayons bleus. Cette particularité est très-importante, et permet d'obtenir des effets d'éclairage simple ou de phosphorescence.

conduits, dans le rapport de 2 d'hydrogène pour 1 d'oxygène. S'il s'agit de diffuser la lumière, la matière irradiante sera taillée en cylindre d'un petit diamètre et sera chauffée sur toute sa circonférence, de façon à rayonner dans tous les sens. S'il s'agit, au contraire, d'une projection de faisceaux dans une direction déterminée, le jet de gaz enflammé ne devra frapper que sur un point de la matière taillée en prisme.

Depuis plusieurs années dans les théâtres, on substitue cette lumière à celle de l'arc voltaïque, quand il s'agit d'effets de peu de durée et qui n'exigent pas une intensité lumineuse considérable; mais, dans ce cas, on emploie encore généralement l'oxygène préparé directement par la décomposition du chlorate de potasse mélangé de peroxyde de manganèse.

Nous avons dit précédemment que les nouveaux procédés de production de l'oxygène ne donnaient pas ce gaz pur. Même à cet état, il peut être utilisé au théâtre; ainsi en émettant de l'oxygène dans la flamme des becs qui composent les rampes du cintre ou de la scène, on pourrait, à un moment donné et durant le temps voulu, *blanchir* la lumière et varier les *effets* de l'éclairage diffus. Disposant librement de l'oxygène, on pourrait aussi améliorer l'éclairage de la salle; et cela, avec d'autant moins d'inconvénient que la lumière projetée par les becs de gaz hydrocarboné alimentés à l'oxygène ne change pas les couleurs des toilettes.

Nous appelons l'attention de la direction du nouvel Opéra sur cette application de l'oxygène.

## IV. — Les spectres.

Les spectres! quel succès à Paris, en province, à l'étranger, en 1863! Ce succès se continua même, à Paris, pendant près de deux ans; quelle longévité pour cette ville si essentiellement fantaisiste et versatile! S'il faut en croire la chronique, cette expérience est très-ancienne. On attribue à un Anglais, en 1802, l'idée première d'appliquer la réflexion de la lumière sur glaces transparentes à la manifestation d'images spectrales. En 1863, l'idée fut remise sur le tapis par M. Robin, alors prestidigitateur au boulevard du Temple, puis par M. Hostein, directeur du théâtre du Châtelet, et par M. Clevermann, très-habile successeur de notre fameux Robert-Houdin. Ces Messieurs vulgarisèrent ce phénomène d'optique, reproduit depuis sur diverses scènes théâtrales, et approprié à nombre de scénarios. Nous donnerons la disposition que nous avons vue au théâtre du Châtelet.

Le scénario occupait le théâtre dans toute sa longueur et dans toute sa largeur; c'était le tableau « les Apparitions dans une forêt » du *Secret de Miss Aurore*. Trois glaces sans tain, de $8^{m},45$ de longueur totale et $4^{m},49$ de hauteur, sont encastrées dans un même cadre, et inclinées à 45 degrés par rapport au plan de la scène. Il est essentiel d'opérer avec des *glaces* et non avec du *verre*, car la surface réfléchissante doit être d'une pureté rigoureuse, la moindre aspérité détruisant une partie de la netteté de l'image. Un vide est pratiqué sur l'avant de la scène, contre l'orchestre. Là, se placent les acteurs

dont les images doivent être réfléchies par les glaces, pour produire les apparitions. Leur position, par rapport à l'inclinaison des glaces, doit être telle que les images soient rigoureusement verticales et en contact avec le plancher du théâtre, pour les spectateurs placés à l'orchestre et à la première galerie. Le *sujet* ou les *sujets* se trouvent éclairés par un puissant foyer de lumière qui émet des rayons divergents de façon à éclairer l'objet sans occasionner d'ombre. Ouvrant, puis refermant l'appareil éclairant, à l'aide d'un obturateur mobile, on détermine pour les spectateurs l'apparition ou l'évanouissement de l'image spectrale. L'effet produit est très-facile à comprendre. Chacun peut répéter l'expérience. Lorsqu'on regarde dans une glace sans tain, l'espace en avant et en arrière étant également éclairé, on ne distingue aucune image, la quantité de lumière réfléchie en avant de la glace étant alors moindre que celle qui éclaire l'autre côté. Vient-on à produire l'obscurité dans cette partie, puis à éclairer vivement un objet quelconque, dissimulé à la vision directe, une image virtuelle paraîtra immédiatement se détacher avec intensité derrière la glace, à distance égale à celle de l'objet : l'obscurité fait, en quelque sorte, office de tain.

### V. — La lumière au magnésium. — Effets de phosphorescence.

La lumière au magnésium a été aussi essayée au théâtre pour produire des effets de projection. La manœuvre des appareils est très-simple. L'opérateur se tient dans la

coulisse, la lampe à la main, et il braque le feu sur la place ou sur le sujet à éclairer. La disposition la plus usuelle est due à MM. Grant et Salomon; un rouage d'horlogerie renfermé dans une boite déroule, d'une façon continue, le fil de magnésium, ou une tresse de deux fils qui sort par un tube à l'orifice duquel on l'enflamme; ce mouvement de déroulement est réglé par un volant, et un bouton d'arrêt détermine ou suspend la fonction du rouage d'horlogerie. Il y a une dizaine d'années, la lumière au magnésium était une curiosité scientifique; le gramme de fil coûtait plus de 3 francs : il a baissé ensuite à 1 fr. 20, et actuellement ce poids de fil ne vaut que 45 centimes. Les lampes peuvent être doubles, c'est-à-dire à deux becs. Chaque bec pouvant recevoir 1 ou 2 fils, il s'ensuit qu'une seule lampe peut brûler 4 fils. Voyons quel est l'effet lumineux obtenu et quel est son prix de revient.

M. Allard a fait, à l'Administration des phares, plusieurs expériences pour déterminer le pouvoir éclairant des lampes au magnésium; il a obtenu les résultats suivants (1) :

| | Consommation des fils en poids. | | Pouvoir éclairant moyen. | |
|---|---|---|---|---|
| | Par minute. | Par heure. | Becs carcels. | Bougies. |
| Lampe à 2 fils....... | 0gr,176 | 10gr,56 | 22 | 176 |
| » à 3 fils....... | 0gr,454 | 27gr,26 | 43 | 344 |

Ainsi, 10 grammes de magnésium coûtant 4 fr. 50 donnent une quantité de lumière équivalant en moyenne

(1) Nous les empruntons à l'ouvrage *la Lumière*, de M. Ed. Becquerel.

à celle de 150 bougies, ou à celle de $1^k$,500 d'acide stéarique, qui, à 2 fr. 70 le kilogramme, coûtent 4 fr. 05. On voit donc que le prix de revient de l'unité lumineuse dans la lampe au magnésium n'est pas actuellement beaucoup plus élevé que celui de la lumière donnée par les bougies stéariques. Mais on voit aussi que ce prix est singulièrement élevé par rapport à celui de la lumière émise par les machines magnéto-électriques.

Cette source lumineuse présente un très-grave inconvénient, c'est que le fil de magnésium se rompt promptement et s'éteint, de telle sorte qu'on ne peut maintenir l'éclairage constant pendant un laps de temps supérieur à quelques minutes.

La lumière émise par le fanal au magnésium a un caractère tout spécial qui ne pourrait convenir pour les effets de soleil ou pour l'éclairage très-vif d'un ballet. Sa flamme, très-riche en rayons bleus et violets, produit un effet déplorable pour les figures fardées des artistes et pour les nuances de leurs vêtements.

Ces rayons de la partie la plus réfractée du spectre sont, ainsi qu'il a été dit, caractérisés par leur aptitude à déterminer les réactions chimiques; mais ils jouissent aussi d'une autre propriété, celle de produire les phénomènes si curieux de phosphorescence. Ce serait absolument sortir du cadre que nous nous sommes tracé que de décrire avec détails la nature de ces curieux phénomènes; nous ne devons les indiquer que très-brièvement.

Un corps est dit *phosphorescent*, lorsque, soumis à l'influence d'une source lumineuse, puis rentré dans l'obscurité, il émet alors des rayons par action propre. Il est, dans ce cas, *phosphorescent par insolation*, il continue de *vibrer* sous l'impulsion qu'il a reçue de la source lumineuse. M. Ed. Becquerel a fait des travaux très-étendus et très-remarquables sur la phosphorescence des corps par insolation. Ce savant physicien a prouvé, à l'aide d'un très-ingénieux appareil, le *phosphoroscope*, que, s'il existe des corps qui sont phosphorescents pendant un temps assez long, durant plusieurs heures, il en existe qui peuvent jouir de cette faculté pendant quelques *dix-millièmes* de seconde seulement; si l'on pouvait diminuer suffisamment le laps de temps qui sépare l'insolation du corps de sa rentrée dans l'obscurité, on pourrait toujours constater sa phosphorescence. Cette faculté est donc, en quelque sorte, une propriété générale de la matière. M. Ed. Becquerel a démontré également que, pour un même corps, la nature des rayons émis pouvait varier avec l'état moléculaire, lorsqu'on le modifiait, par exemple en élevant sa température. C'est ainsi que certaines substances, telles que les sulfures de baryum, de strontium, et surtout de calcium peuvent émettre par phosphorescence, lorsqu'on fait varier leur température, divers rayons rouges, orangés, jaunes, verts, bleus, violets.

Les phénomènes de phosphorescence peuvent être développés par d'autres procédés physiques, tels que les actions mécaniques, le clivage, l'influence électrique, etc.

Il nous suffit de rappeler qu'elle transforme l'électricité dynamique de la pile en électricité dynamo-statique, c'est-à-dire que le courant induit qu'elle engendre va fournir, à travers des circuits très-longs, des décharges douées des caractères statiques de l'électricité Nous avons parlé, dans d'autres Chapitres, des effets calorifiques et même lumineux de ces étincelles d'induction, nous ne devons insister ici que sur leur propriété *phosphogénique*. Lorsque l'étincelle d'induction traverse un tube vide (*fig.* 63), elle s'y étale, en illuminant le tube d'une lu-

Fig 63.



mière dont la nuance dépend : 1° de la nature du milieu

raréfié qu'elle traverse; 2° de la nature des parois qui constituent le tube lui-même.

Pour comprendre le mode d'action de l'étincelle d'induction dans cette circonstance, il faut se rappeler qu'elle est essentiellement intermittente et qu'elle se succède à des intervalles de temps excessivement rapprochés. Cette étincelle, en raison de son intermittence, agit comme le phosphoroscope; en outre, étant très-riche en rayons violets, elle possède au plus haut degré le caractère phosphogénique. C'est ainsi, qu'on peut substituer cette source lumineuse à la lumière solaire, pour déterminer la phosphorescence des corps à longue ou à courte persistance.

Si l'on place un sulfure phosphorescent dans un tube vide d'air et que l'étincelle d'induction le sillonne, deux effets lumineux sont perçus : l'éclair électrique apparaît dans le tube et, en même temps, la matière phosphorescente brille de sa lueur propre. L'œil croit voir les deux lumières concomittantes, et cependant la lueur phosphorescente n'est émise par elle qu'aux intervalles de temps pendant lesquels l'étincelle ne traverse pas le tube.

Lorsque l'électricité cesse de passer dans le tube, le phosphore artificiel brille tant qu'il conserve le mouvement que l'étincelle lui a communiqué. On peut faire varier les effets lumineux en modifiant la nature du verre qui constitue l'enveloppe, celle de l'atmosphère raréfiée qu'elle contient, en combinant enfin plusieurs substances phosphorescentes. On obtient les effets les

plus intenses en employant les matières phosphorescentes à courte persistance ; il n'est pas besoin de recourir à une bobine de grande dimension pour produire un effet lumineux brillant.

Les substances que l'on peut employer sont les suivantes :

*Corps solides à longue persistance.*

| | Lumière émise. |
|---|---|
| Sulfure de baryum | orangée. |
| Sulfure de strontium | verte. |
| Sulfure de calcium | vert bleuâtre. |

*Corps liquides à courte persistance.*

| | Lumière émise. |
|---|---|
| Dissolution de sulfate de quinine dans l'eau acidulée par l'acide tartrique | bleue. |
| Dissolution aqueuse d'esculine | bleue. |
| Dissolution alcoolique de chlorophylle | rouge. |

*Corps solides à courte persistance.*

| | Lumière émise. |
|---|---|
| Verre d'urane | verte. |
| Azotate d'urane | verte. |
| Platino-cyanure de potassium | bleue. |
| Vert enduit de sulfate de quinine | bleue. |
| Spath fluor | bleu foncé. |

Les gaz raréfiés dans les tubes se nuancent aussi de différentes manières, mais les gaz ne s'illuminent que durant le passage même de l'étincelle électrique. Voici les matières gazeuses qui fournissent les effets de lumière les plus saisissants :

*Gaz.*

| Gaz | Lumière émise. |
| --- | --- |
| Oxygène | blanchâtre. |
| Hydrogène | rouge. |
| Azote | violet. |
| Air | violet. |
| Chlore | vert. |
| Brome | rougeâtre. |
| Fluor | bleu. |
| Oxyde d'azote | bleu. |
| Acide carbonique | blanc verdâtre. |

L'expérience se fait d'ordinaire à l'aide des tubes dits *de Geissler*, représentés *fig.* 64 et 65. La lumière les traverse en éclairant les gaz de leur nuance propre et en présentant les mêmes stratifications que dans l'œuf électrique.

D'après ces considérations il est aisé de comprendre que l'on pourra utiliser, sous une foule de formes, la propriété phosphogénique de l'étincelle d'induction. C'est ainsi que les diadèmes des reines de théâtre, ou des symboles quelconques, peuvent être éclairés à un moment déterminé des feux les plus brillants (*fig.* 66).

Nous avons vu dans le Chapitre IV que l'étincelle d'induction pouvait être appliquée comme source calorifique pour enflammer à distance des *fusées*. Cette propriété sera employée avec succès au théâtre lorsqu'il s'agira de produire des effets pyrotechniques, ou d'enflammer des becs de gaz, instantanément. C'est ce qui se fait pour le *lustre magique*, ou pour le candélabre à deux becs dans le *Pied de mouton*. La disposition est très-simple : l'opérateur se place avec la bobine dans la

loge du souffleur; les fils très-fins, invisibles même à la

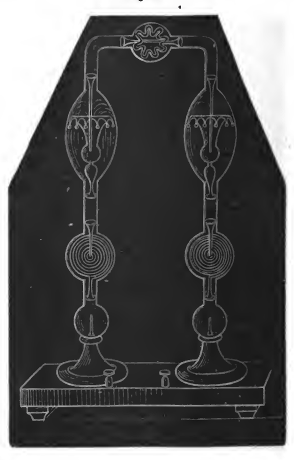
Fig. 64.



distance de l'orchestre, courent sur le plancher de la scène et montent à une table où se trouvent des plaques

de communication qui reçoivent le candélabre. L'acteur

Fig. 65.



peut avoir sous son costume des fils aboutissant à des semelles métalliques; il pose ces semelles sur des plaques qui s'épanouissent au plancher, et tient le candélabre à l'aide de gants isolants.

L'étincelle éclate, très-fine, entre deux fils de platine

Fig. 66.



qui sont dissimulés dans la mèche, et la bougie factice contient une essence éthérée, très-volatile et très-lumineuse.

Le gaz d'éclairage s'allume instantanément par cette même étincelle.

On pourrait aussi produire différents effets très-saisissants à l'aide de l'étincelle que l'on ferait éclater entre des métaux : par exemple, entre des boucliers que heur-

tent des artistes en dansant, entre des pointes d'épée dans un duel fantastique.

La science peut offrir à l'art de la mise en scène des ressources bien plus variées que celles dont nous venons de parler, en nous bornant à l'intervention de l'électricité. Aussi, à mesure que l'architecture embellit les constructions, que les décors deviennent de véritables œuvres artistiques, la mise en scène, les *trucs*, ne doivent plus rester en arrière du progrès, et la *science au théâtre* doit être plus qu'un mot.



FIN.

PARIS. — IMPRIMERIE DE GAUTHIER-VILLARS,
rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'Institut.

beau bleu. Comment expliquer ce phénomène? C'est que, si pour nos yeux, les rayons qui existent dans la lumière solaire se limitent aux *violets* pour les plus réfrangibles, comme aux *rouges* pour les moins réfrangibles; il en existe cependant en deçà du rouge, comme au delà du violet; et ces derniers sont éminemment capables de déterminer la phosphorescence de substances délicates, telles que les matières organiques liquides ou en dissolution dans des liquides inertes. Il est aisé de comprendre que les rayons *violets* et *à fortiori* les rayons *extra-violets* peuvent faire rendre aux corps phosphorescents toutes les nuances du spectre qui sont moins réfrangibles. D'autres phénomènes prouvent l'existence de rayons *infra-rouges*. Ceci dit pour expliquer que la lumière n'est limitée que par l'impuissance de l'œil humain à percevoir des rayons plus *lents* que le *rouge* et plus *rapides* que le *violet*, voyons comment nous pouvons utiliser les phénomènes de phosphorescence à courte durée. Comme pour les phénomènes à longue persistance, nous nous bornerons à un ou deux exemples, qui suffiront à indiquer la voie que l'on peut suivre.

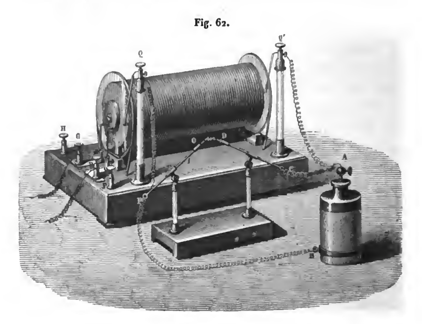
La lumière violette est celle qui détermine le plus facilement la phosphorescence des corps; de plus, elle est obscure; elle sera donc, à ces deux points de vue, favorable à la production de ces sortes d'effets.

Supposons que sur un transparent de verre on ait tracé des caractères ou des figures avec une substance phosphorescente, et qu'on dirige sur cet écran un faisceau de rayons violets très-obscurs; les traits s'illumine-

ront en bleu, vert, sous l'influence de cette lumière (1). Un effet très-avantageux pour la scène est obtenu en lançant un faisceau de rayons violets sur un vase plein d'eau dans lequel on projette, à ce moment, quelques gouttes d'un liquide phosphorescent.

L'électricité, sous forme d'étincelle, produit des effets de phosphorence d'une grande intensité. La forme expérimentale est alors tout autre. La bobine d'induction (*fig.* 62) a été trop souvent décrite pour que

Fig. 62.



nous revenions une fois de plus sur sa construction.

(1) Cette lumière nous semble continue, et cependant nous voyons les rayons phosphorescents dans les moments où elle cesse d'agir.

LIBRAIRIE DE GAUTHIER-VILLARS,
QUAI DES GRANDS-AUGUSTINS, 55, A PARIS

# LE SOLEIL

EXPOSÉ DES PRINCIPALES DÉCOUVERTES MODERNES SUR LA STRUCTURE DE CET ASTRE, SON INFLUENCE DANS L'UNIVERS ET SES RELATIONS AVEC LES AUTRES CORPS CÉLESTES,

PAR LE P. A. SECCHI, S. J.,
Directeur de l'Observatoire du Collège Romain, Officier de la Légion d'honneur
Correspondant de l'Institut de France, etc.

UN BEAU VOLUME IN-8, SUR PAPIER VÉLIN, AVEC 129 FIGURES DANS LE TEXTE ET 3 PLANCHES SUR ACIER, DONT 2 EN COULEUR; 1870. — 12 FRANCS.

**En envoyant à l'Éditeur un mandat sur la poste ou des timbres-poste, on recevra l'Ouvrage franco dans toute la France.**

Pendant vingt années consécutives, l'Auteur a employé la meilleure partie de son temps à l'étude du Soleil, et il est incontestablement l'homme le plus capable de réunir dans un ouvrage les connaissances que les savants possèdent actuellement sur la constitution physique du Soleil. En composant ce Livre, il a utilisé les travaux et les découvertes de tous ceux qui ont à différentes époques étudié la même question, prenant, comme il le dit lui-même, le vrai et le beau partout où il l'a trouvé. Cependant, par une préférence bien naturelle et bien louable, il a surtout décrit les phénomènes qu'il a lui-même observés, rendant pour ainsi dire le lecteur témoin des spectacles que lui révèle son télescope. C'est ainsi qu'il nous fait connaître la manière dont les taches prennent naissance, les transformations qu'elles éprouvent, les formes multiples et bizarres qu'elles affectent, les mouvements violents dont elles sont à la fois les effets et les manifestations. Dans un autre Chapitre, il nous fait assister au spectacle d'une éclipse : la couronne, les aigrettes, les protubérances, tout se trouve reproduit, non-seulement par de magnifiques gravures, mais par des descriptions aussi intéressantes qu'instructives. Signalons encore le Chapitre si curieux consacré aux *Soleils* ou *Étoiles*, et les magnifiques planches du spectre solaire et des spectres stellaires.

Nous espérons que ce Livre sera favorablement accueilli par tous : par les savants, qui y trouveront des connaissances nouvelles et un résumé consciencieux des travaux les plus récents ; par les personnes du monde, qui dans un beau volume, trouveront une lecture attrayante, une science à la fois solide et abordable pour toutes les intelligences cultivées.

Paris. — Imprimerie de GAUTHIER-VILLARS, rue de Seine-Saint-Germain, 10, près l'I[illegible]t.



